



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**HERSON OLIVEIRA DA ROCHA**

**GRADIOMETRIA MAGNÉTICA E GPR APLICADOS À ARQUEOLOGIA EM  
SÍTIO ESTUARINO EM PENALVA-MA**

**BELÉM**

**2012**

**HERSON OLIVEIRA DA ROCHA**

**GRADIOMETRIA MAGNÉTICA E GPR APLICADOS À ARQUEOLOGIA EM  
SÍTIO ESTUARINO EM PENALVA-MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade  
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências  
para a obtenção de grau de Mestre em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Welby Correa Silva

**BELÉM**

**2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

R672g Rocha, Herson Oliveira da

Gradiometria magnética e GPR aplicados à arqueologia em sítio estuarino em Penalva-MA / Herson Oliveira da Rocha; Orientador: Marcos Welby Correa Silva - 2012.

61 fl.: il.

Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Belém, 2012.

1. Geofísica. 2. Magnetometria. 3. GPR. 4. Estudos Arqueológicos.  
I. Silva, Marcos Welby Correa *orient.* II. Universidade Federal do Pará  
III. Título.

CDD 22° ed.: 550

---




**HERSON OLIVEIRA DA ROCHA**

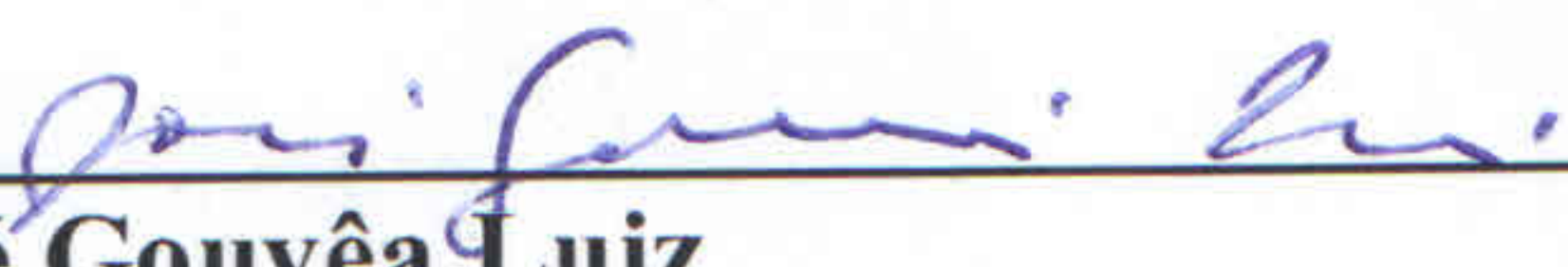
**GRADIOMETRIA MAGNÉTICA E GPR APLICADOS À ARQUEOLOGIA EM  
SÍTIO ESTUARINO EM PENALVA-MA**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção de grau de Mestre em Geofísica.

Data de aprovação: 20 / 11 / 2012

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Marcos Welby Correa Silva - Orientador**  
Doutor em Geofísica  
Universidade Federal do Pará

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. José Gouvêa Luiz**  
Doutor em Geofísica  
Universidade Federal do Pará

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Fernando Luiz Tavares Marques**  
Doutor em Arqueologia  
Museu Paraense Emílio Goeldi



*Dedico este trabalho a minha filha Nayumi.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me abençoar com saúde e perseverança na busca de mais um objetivo. Por me conceder serenidade e sabedoria nos momentos mais conflituosos e difíceis de minha vida e por me dar coragem para seguir sempre em frente, mesmo diante das dificuldades.

Aos meus pais Edmilson e Júlia pela força, compreensão, paciência, incentivo e apoio demonstrados em mais essa etapa da minha vida. Ao meu irmão Henderson pela amizade e companheirismo.

A minha companheira Mina, pelo incentivo e apoio nos momentos de desânimo e por fazer parte da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Welby Correa Silva, pela oportunidade, paciência, dedicação, apoio e compreensão.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Cícero Roberto Teixeira Régis, por tornar os conhecimentos em Geofísica mais interessantes no decorrer de suas aulas, e Lúcia Maria da Costa e Silva, pela competência no ato de ensinar e pelas valiosas contribuições na minha formação.

Aos arqueólogos Fernando Luiz Tavares Marques e Deusdedit Carneiro Leite Filho, pela oportunidade, amizade, troca de informações e sugestões para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da Pós-Graduação em Geofísica: Thiago Santa Rosa, Odinei Júnior, Marcelo Fernandes e Diego Miranda pelos momentos felizes que passamos e pelas horas de companheirismo durante nossa jornada acadêmica.

A CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado.

A UFPA/CPGf, por ter proporcionado a continuidade da minha formação acadêmica e profissional dando toda estrutura e apoio logístico necessário à realização desta pesquisa.

Às secretárias da pós-graduação, Benildes Lopes e Lucibela Soares, pela atenção, amizade, carinho, incentivo e presteza destinada aos alunos do curso.

E por fim, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para realização deste trabalho.

*Chamam os inteligentes de loucos  
e os loucos de revolucionários”.*

Albert Einstein

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta os resultados da aplicação de métodos geofísicos não invasivos, visando a indicação de possíveis locais de deposição de materiais, no levantamento arqueológicos em um sítio estuarino localizado no município de Penalva, no estado do Maranhão. Os métodos utilizados foram Magnetometria e Radar de Penetração no Solo (GPR). As medidas magnéticas foram utilizadas para indicar os locais para escavação. O GPR foi utilizado para confirmar as anomalias geradas pelo método magnético, proporcionando a diminuição de erros quando as anomalias magnéticas não são provenientes de feições arqueológicas. Foram realizados 14 perfis de GPR, utilizando uma antena de 400 MHz e 1664 medidas magnéticas, utilizando o magnetômetro. Durante o levantamento arqueológico realizado, baseando-se nas anomalias fornecidas pela geofísica, a equipe liderada pelos arqueólogos Deusdedit Carneiro Leite Filho e Fernando Luiz Tavares Marques realizou cinco escavações no sítio, o que lhes permitiu o resgate de várias peças cerâmicas. Os resultados apresentados nesta pesquisa permitiram verificar e avaliar a potencialidade da prospecção geofísica como método auxiliar em estudos arqueológicos.

Palavras-chave: Geofísica. Magnetometria. GPR. Estudos Arqueológicos.



## **ABSTRACT**

This research presents the results of the application of geophysical methods noninvasive, in order to indicate possible sites of deposition of materials in archaeological survey at a site located in the municipality of estuarine Penalva in the state of Maranhão. The methods used were Magnetometry and Ground Penetrating Radar (GPR). The magnetic measurements were used to indicate the locations for excavation. The GPR was used to confirm the anomalies generated by the magnetic method, providing fewer errors when the magnetic anomalies are not caused by archaeological features. Were 14 profiles performed GPR using an antenna 400 MHz and 1664 magnetic measurements using the magnetometer. During the archaeological survey conducted, based on the geophysical anomalies provided by the team led by archaeologists Deusdedit Carneiro Leite Filho and Luiz Fernando Tavares Marques made five excavations at the site, which allowed them to rescue several ceramic pieces. The results presented in this study allowed us to verify and evaluate the potential of geophysical prospecting method to assist in archaeological studies.

**Keywords:** Geophysics. Magnetometry. GPR. Archaeological Studies.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 -	Mapa de localização da área de estudo.....	15
Figura 2.2 -	Mapa geológico do Estado do Maranhão.....	18
Figura 2.3 -	Estearia Lago Cajari no início do período chuvoso.....	21
Figura 2.4 -	Estearia Lago Cajari no período de estiagem.....	21
Figura 2.5	(a) Cabeça antropomorfa (Rio Turi, Santa Helena), (b) Aplique zoomorfo (Estearia do Encantado), (c) Recipientes em formato de meia calota (Rio Turi, Santa Helena) e (d) Tigela com aplique zoomorfo (Estearia do Caboclo, Rio Turi).....	22
Figura 2.6 -	Modelo esquematizado das aldeias sobre palafitas.....	23
Figura 2.7 -	Formas cerâmicas da estearia Lago Cajari.....	24
Figura 3.1 -	Levantamento Magnético.....	27
Figura 3.2 -	Esquema do comportamento das ondas eletromagnéticas transmitidas para a subsuperfície.....	31
	Registro e armazenamento das ondas de GPR.....	32
Figura 4.1 -	Mapa Magnético da área do sítio Lago da Lontra juntamente com o posicionamento dos perfis de GPR.....	40
Figura 4.2 -	Levantamento com GPR.....	41
Figura 4.3 -	Perfil01-400-50.....	43
Figura 4.4 -	Perfil02-400-50.....	43
Figura 4.5 -	Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [E].....	44
Figura 4.6 -	Perfil03-400-50.....	44
Figura 4.7 -	Perfil04-400-50.....	45
Figura 4.8 -	Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [A].....	45
Figura 4.9 -	Perfil05-400-50.....	46
Figura 4.10 -	Perfil06-400-50.....	46
Figura 4.11 -	Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [D].....	47
Figura 4.12 -	Perfil07-400-60.....	48
Figura 4.13 -	Perfil08-400-60.....	49
Figura 4.14 -	Perfil09-400-60.....	50
Figura 4.15 -	Perfil10-400-60.....	52

Figura 4.16 - Perfil11-400-60.....	54
Figura 4.17a- Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [C] evidenciando a camada de argila.....	55
Figura 4.17b- Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [C] evidenciando os fragmentos cerâmicos.....	55
Figura 4.18 - Perfil12-400-60.....	56
Figura 4.19 - Perfil13-400-60.....	57
Figura 4.20 - Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [B].....	58
Figura 4.21 - Perfil14-400-60.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Susceptibilidade magnética de alguns minerais.....	28
Tabela 2 -	Estimativa da Profundidade Máxima de Penetração em função da Frequência Central das Antenas.....	32
Tabela 3 -	Tabela de valores de propriedades eletromagnéticas de diferentes materiais.....	35

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
2	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	15
2.1	LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	15
2.2	FISIOGRAFIA E GEOLOGIA.....	15
2.3	OCUPAÇÕES LACUSTRES.....	19
3	<b>METODOLOGIA GEOFÍSICA</b> .....	26
3.1	MAGNETOMETRIA.....	26
3.2	MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO.....	29
3.3	RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	30
4	<b>RESULTADOS</b> .....	38
4.1	MAGNETOMETRIA.....	38
4.2	RADAR DE PETRAÇÃO NO SOLO (GPR).....	40
4.3	PERFIS DE GPR.....	42
4.3.1	<b>Perfil 01</b> .....	42
4.3.2	<b>Perfil 02</b> .....	42
4.3.3	<b>Perfil 03</b> .....	43
4.3.4	<b>Perfil 04</b> .....	44
4.3.5	<b>Perfil 05</b> .....	45
4.3.6	<b>Perfil 06</b> .....	45
4.3.7	<b>Perfil 07</b> .....	46
4.3.8	<b>Perfil 08</b> .....	48
4.3.9	<b>Perfil 09</b> .....	48
4.3.10	<b>Perfil 10</b> .....	50
4.3.11	<b>Perfil 11</b> .....	52
4.3.12	<b>Perfil 12</b> .....	55
4.3.13	<b>Perfil 13</b> .....	55
4.3.14	<b>Perfil 14</b> .....	57
5	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59



## 1 INTRODUÇÃO

A aplicação de métodos geofísicos tem se tornado alvo de grande interesse como ferramenta auxiliar à pesquisa arqueológica, pois possibilita o desenvolvimento de estudos passíveis de análise das dimensões e posições de artefatos arqueológicos, bem como auxilia na localização de antigas estruturas soterradas, apontando para o local ideal de escavações em sítios arqueológicos, com a vantagem de sua natureza ser não invasiva.

Os primeiros trabalhos de prospecção geofísica aplicada à Arqueologia na Amazônia que se tem registro foram realizados em 1977 no Sítio Teso dos Bichos, na Ilha do Marajó (ALVES, 1979; ALVES ; LOURENÇO, 1981; ROOSEVELT, 1991), utilizando método magnético e eletrorresistividade. Recentemente, outros levantamentos foram realizados: na região do Rio Anajás, na Ilha de Marajó (BARRADAS et al., 1999); em algumas cidades do Pará, como Abaetetuba, Moju e Almeirim (ARAGÃO, 2006) onde foram utilizados magnetometria, cintilometria e radar de penetração no solo; e, também, na área do Engenho Murutucu (MELO, 2007) em Belém, onde foram utilizados dados magnéticos de um levantamento realizado anteriormente e GPR com objetivo de correlacioná-los visando a localização de vestígios materiais de ocupação e de alicerces da edificação antiga da senzala no Engenho.

Os métodos geofísicos no estudo de sítios arqueológicos satisfazem a necessidade de indicar com maior exatidão os locais para escavação, cujo objetivo é detectar artefatos cerâmicos enterrados no sítio, pois estes normalmente produzem distorções no campo magnético terrestre.

Este trabalho tem a finalidade de localizar os locais mais prováveis para a localização de zonas de descarte de material cerâmico e vestígios de ocupações pretéritas no sítio arqueológico Lago da Lontra, em Penalva - MA. Sendo assim, foram empregados os métodos geofísicos Magnetometria e Radar de Penetração no Solo (GPR). As medidas magnéticas foram usadas para localizar anomalias causadas por artefatos cerâmicos; o GPR foi usado para confirmar as anomalias de feições arqueológicas fornecidas pelas medidas magnéticas.

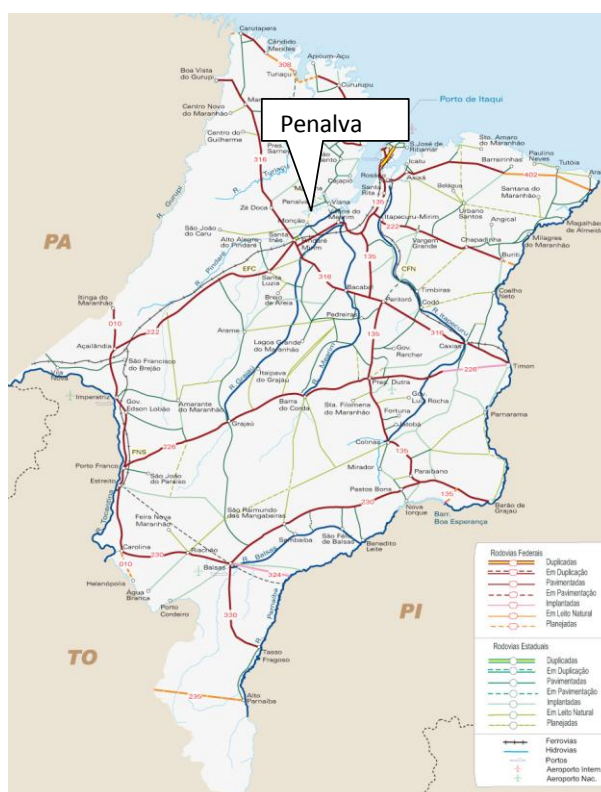
Durante o levantamento arqueológico realizado, baseando-se nas anomalias fornecidas pela geofísica, a equipe liderada pelos arqueólogos Deusdedit Carneiro Leite Filho e Fernando Luiz Tavares Marques realizou cinco escavações no sítio, o que lhes permitiu o resgate de várias peças cerâmicas.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área investigada faz parte do município de Penalva, que ocupa uma área de aproximadamente 785,57 km<sup>2</sup>, localizado na Baixada Maranhense, próxima às cidades de Viana e Pedro do Rosário. O centro do município está posicionado nas coordenadas UTM 22 M 16' 54" S, 45° 10' 29" W.

Figura 2.1 - Mapa de localização do sítio Lago da Lontra.



### 2.2 FISIOGRAFIA E GEOLOGIA

O Maranhão se situa em uma grande área de transição entre ambientes equatoriais úmidos e áreas gradualmente mais secas, apresentando segmentos morfo-climáticos característicos desse processo de transição.

O Estado compreende um litoral de 640 km entre a foz do Gurupi e o Delta do Parnaíba. Esta longa faixa litorânea pode ser classificada como área de planícies flúvio-marinhas ou costeiras que, por sua vez, pode ser subdivida em dois subsetores distintos, cujo limite é o golfo maranhense e a própria ilha de São Luís: o ocidental com predominância de manguezais, denominado costa de rias, com reentrâncias, baías, ilhas e pontas; e o segmento oriental com acumulação de grandes manchas de sedimentos arenosos, conjunto de dunas conhecidas como lençóis maranhenses, fruto da ação eólica e da devolução de sedimentos carregados para a costa pelos rios da região (AB' SÁBER, 2001; RIOS, 2005).

O golfo maranhense, que abrange a ilha de São Luís, com 831,7 Km<sup>2</sup>, entre a baía de São Marcos e a baía de São José, além da ilha dos Caranguejos (40 x 11 km de extensão), se caracteriza por inserir-se em uma planície fluvio-marinha constituída por estuários afogados dos rios Mearim, Itapecuru e Munim, moldados a milhões de anos e configurados pela ingressão marinha holocênica (ESPÍRITO SANTO, 2006; AB' SÁBER, 2006).

O prolongamento das características geomorfológicas e ambientais desde o estuário amazônico e a convergência das bacias hidrográficas do Itapecuru, Mearim, Pindaré e Munim para o golfo, interliga diferentes domínios paisagísticos e ecossistemas (amazônicos, cerrados, cocais, etc.) o que qualifica a região como cenário estratégico para o assentamento de populações pretéritas (ESPÍRITO SANTO, 2006) (Figura 2.2).

Geologicamente, a Baixada Maranhense é constituída por rochas sedimentares, decorrente da erosão de áreas cratônicas. As formações geológicas que compreendem a área de estudo são:

Formação Itapecuru: Cretáceo Inferior, que ocupa a metade do território do estado, sendo constituída de arenitos finos, avermelhados e róseos, cinza, geralmente com estratificação horizontal (MARANHÃO, 2002).

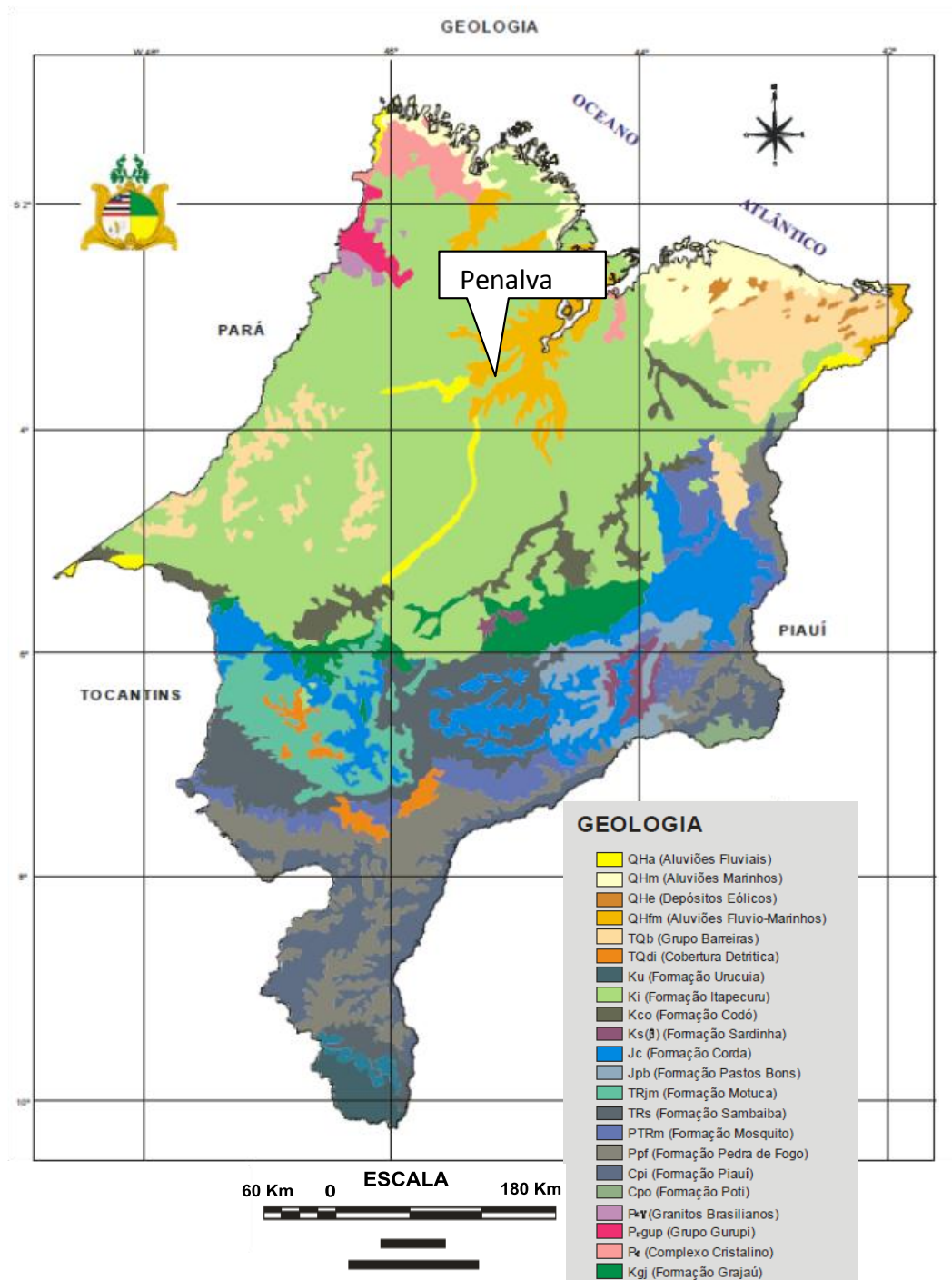
Grupo Barreiras: Período Terciário pertencente à Era Cenozóica, formada por conglomerados, cascalhos, areias, siltes e argilas de cores variadas de coloração avermelhada, creme amarelado, com granulação variando de fina e média, a matriz é argilosa caulinita, com cimento argila-ferruginosa, às vezes silicoso. Os sedimentos da

Formação Barreiras são mal selecionados, pouco classificados e compactados, de fácil erosão, ou seja, desmoronam com muita facilidade (MARANHÃO, 2002).

Também são encontrados sedimentos inconsolidados, de idade Quaternária, que ocorrem na região preenchendo as partes topográficas mais baixas e planas, possuindo cobertura vegetal uniforme. De origem fluvial e lacustre, (Holocênico muito recente) sendo representado pelos depósitos aluvionares nas áreas de Planícies Fluvio-Marinhas periodicamente inundáveis, estuários e mangues (MARANHÃO, op.cit.).



Figura 2.2 – Mapa Geológico do Estado do Maranhão



Fonte: (IBGE/UEMA, 2002).

### 2.3 OCUPAÇÕES LACUSTRES

Durante o Quaternário a porção norte do Maranhão, no entorno do golfão maranhense, passou por grande reestruturação paisagística e ecossistêmica em função dos processos neo-tectônicos, flutuações eustáticas e instabilidades climáticas. A área, de transição entre as bacias sedimentares do Parnaíba e São Luís, modelou-se em ambiente de pré-chapadas interiores a um complexo sistema de colmatagem flúvio-marinha (AB' SÁBER, 2006).

O soerguimento da faixa costeira propiciou a gênese na formação dos lagos durante o Pleistoceno, tornando-se a região receptora de sedimentos carreados pelos rios Pindaré, Grajaú e Mearim e das vertentes dos tabuleiros costeiros, configurando os ambientes de sedimentação que são as bacias lacustres. As unidades de paisagem características dessa região são: lagos, campos inundáveis, campos não inundáveis, aterrados, tesos inundáveis e terra firme (DIAS, 2005).

No início do século XIX moradores da baixada e viajantes que passaram pela região, área da planície fluvio-marinha caracterizada por rios perenes e um mosaico de lagos e campos inundáveis, observaram e descreveram restos construtivos, esteios de diferentes dimensões fixados em “croas”, associados a grande quantidade de fragmentos cerâmicos, líticos e restos alimentares, que afloravam nas margens ou nos “tesos” dos lagos nos períodos de estiagem mais prolongados (PROUS, 1992).

Reflexões mais recentes sobre a importância de tais assentamentos apontam à necessidade de estudos locais mais conclusivos. Esses remanescentes de habitações construídas sobre esteios são considerados totalmente originais dentro do quadro atual da arqueologia brasileira (PROUS, op.cit.).

Relatos dos primeiros navegantes, que exploraram o litoral sul americano, fazem referência a padrões de assentamentos similares encontrados na costa da atual Venezuela, como descrito por Américo Vespúcio na expedição de 1499 sob o comando de Alonso de Ojeda: “... encontramos uma população, isto é, um distrito ou vila, colocada sobre as águas, como Veneza, na qual havia cerca de 20 grandes casas, construídas a guisa de sinos, como já se referiu, e firmemente fundadas sobre estacas de madeira, sólidas e fortes, diante de cujos portais se estendem pontes levadiças por

*meio das quais se passava de uma casa à outra como se por uma estabilíssima calçada”* (BUENO, 2003).

Também há referências de vastos territórios tribais densamente ocupados no Alto Amazonas, nas proximidades da aldeia que os espanhóis chamaram de Louça, devido a grande quantidade de cerâmica policrômica de beleza e qualidade. Relatos da expedição de Ursua e Aguirre (1615) registram informações sobre a ocupação da região na época do contato: *“Atrás deste povoado, a um tiro de balestra da barranca do rio, há uma lagoa ou esteiro grande junto ao qual o povoado vai também se estendendo de maneira a ficar como numa longa e estreita ilha. Altamirano acrescenta que a grande aldeia “de tempos em tempos se alagava quando vinha a enchente do rio que inundava a terra por 200 léguas e mais, para esse tempo tinham outras casas feitas como palafitas sobre as árvores, com todo o necessário para poder viver..”* (PORRO, 1996).

O município de Penalva foi ocupado em tempos pré-colombianos por tribos neolíticas lacustres construtores de aldeias sobre palafitas. Os vestígios dessas aldeias (milhares de esteios) recebem o nome de estearias. A principal estearia, localizada no lago Cajari (enseada do Quebra-Coco) era uma autêntica cidade lacustre com mais de 2 km de extensão e com uma população considerável (BALBY, 1985).

O historiador César Marques, assinala que nos verões de 1825 e 1855, nos lagos Cajari e dos Fugidos, após um período de seca, apareceram restos de estruturas de casas e arruamentos, como atestado pelo relato de um engenheiro da companhia Mineração Maranhense que *“assevera existirem neste lago ainda hoje muitos esteios lavrados, os quais por ocasião de grandes sêcas ficam descobertos e assim atestam a existência de antigas moradas, que pelo arruamento, claramente visível, indicam ter feito parte de uma povoação, outrora existente à margem de algum rio, custos vestígios indubitáveis o mesmo engenheiro pretende ter reconhecido. Os moradores mais antigos do lugar, e os próprios índios descendentes dos primeiros povoadores nenhuma notícia dão dessa povoação, que por certo foi habitada por gente civilizada”* (MARQUES, 1970).

A partir de 1919 o historiador, antropólogo e pesquisador do Museu Nacional, Raimundo Lopes elaborou as primeiras hipóteses sobre essas ocupações, atribuindo sua vinculação a grupos amazônicos tardios que se deslocaram até o limite ocidental de ambiente de floresta equatorial úmida. Durante dez anos Lopes investigou a área da Baixada e localizou as “estearias” do Lago Cajari, no município de Penalva, do

Encantado, no município de Pinheiro, e outras ocorrências no rio Turiaçu, no município de Santa Helena. As figuras 2.3 e 2.4 mostram respectivamente, o sítio arqueológico Lago Cajari no início do período chuvoso e o mesmo sítio no período de estiagem.



Figura 2.3 – Estearia no sítio arqueológico Lago Cajari no início do período chuvoso.

Fonte: Dados fornecidos pelos arqueólogos.



Figura 2.4 – Estearia no sítio arqueológico Lago Cajari no período de estiagem.

Fonte: Dados fornecidos pelos arqueólogos.

Os ambientes da região, incluindo os campos, rios e lagos foram percorridos e com base nas informações colhidas junto às populações regionais. Foram então identificados os primeiros locais de interesse arqueológico e recolhida uma diversificada coleção de artefatos e fragmentos, destacando-se uma cerâmica variada com decoração antropomorfa e em grande parte zoomorfa, vasilhas com pintura vermelha interna, pequenas tigelas em formato de meia calota, muiraquitãs, cunhas e lâminas de machado, tortuais, pesos de redes, assadores circulares e uma grande quantidade de fragmentos de cerâmica utilitária, muitas com marcas de fogo (Figura 2.5).

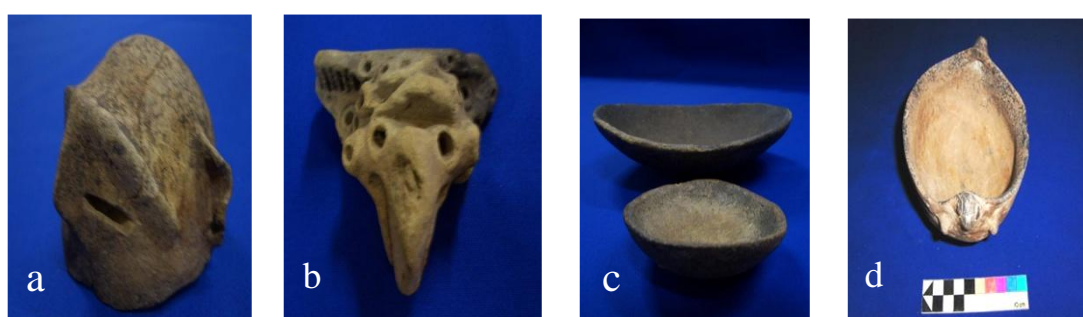


Figura 2.5 – (a) Cabeça antropomorfa (Rio Turi, Santa Helena), (b) Aplique zoomorfo (Estearia do Encantado), (c) Recipientes em formato de meia calota (Rio Turi, Santa Helena) e (d) Tigela com aplique zoomorfo (Estearia do Caboclo, Rio Turi).

Fonte: Centro de Pesquisa e História Natural e Arqueologia do Maranhão.

Esta coleção encontra-se no Museu Nacional da Quinta da Boa Vista no Rio de Janeiro e no Centro de Pesquisa de Recursos Humanos do Maranhão (CPHNAMA) sendo a base para a elaboração de uma série de artigos que fundamentaram a concepção dos modelos explicativos sobre os grupos pré-coloniais que se estabeleceram nesses ambientes, levando a construção das abordagens que possibilitaram a caracterização da então denominada “civilização lacustre do Brasil”, muito em voga no país até meados de 1950 (LOPES, 1916; 1924; 1970).

Em 1971, com fundamentação nesses dados preliminares foi efetuado um trabalho de campo nas proximidades da cidade de Penalva, no Lago Cajari, sob o patrocínio do Serviço do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional e do Museu Paraense Emílio Goeldi com a coordenação do arqueólogo Mário F. Simões. Foram executados registros e prospecções em áreas alagadas, de pouca profundidade, onde se realizou a coleta de material depositado no leito de lama entre os esteios nos sítios



Cacaria e Igarapé do Bahiano, ambos anteriormente descritos e visitados por Raimundo Lopes (CORRÊA, 1991).

Tais esteios, distante entre si cerca de dois metros, foram intencionalmente fixados nesses ambientes e seria a base de sustentação do antigo piso das moradias, provavelmente de grupos que tinham a sua dieta alimentar baseada na pesca e coleta de recursos lacustres, caça de pequenos animais e agricultura incipiente nos terraços fluviais ou áreas ribeirinhas (Figura 2.6).



Figura 2.6 – Modelo esquematizado das aldeias sobre palafitas.

Fonte: Adaptado de [g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2012/05/sitios-arqueologicos-do-maranhao-sao-estudados-por-pesquisadores.html](http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2012/05/sitios-arqueologicos-do-maranhao-sao-estudados-por-pesquisadores.html).

O material coletado tem as mesmas características já descritas anteriormente, sendo a cerâmica classificada em 3 tipos simples e 2 decorados, apresentando nas peças mais elaboradas adornos modelados aplicados à borda ou corpo dos vasos. Considerando-se a análise dos achados foi estabelecida à fase Cajari, obtendo-se a datação, por Carbono 14, de  $1385 \pm 95$  anos, a partir de um fragmento dos troncos de sustentação de pau d'arco (*Tabebuia dasp*). O acervo proveniente dessas intervenções encontra-se no Museu Paraense Emílio Goeldi (CORRÊA, 1991).

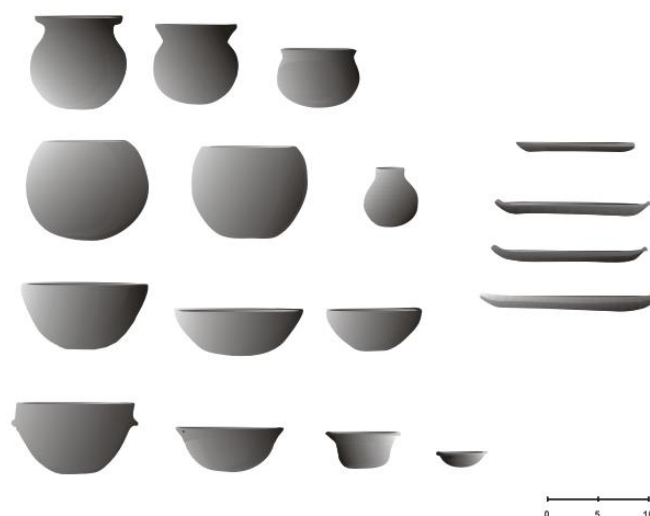


Figura 2.7 – Formas cerâmicas da estearia Lago Cajari, reconstituídas a partir de fragmentos coletados.

Fonte: Museu Paraense Emílio Goeldi.

O médico, antropólogo e físico Olavo Correia Lima da Universidade Federal do Maranhão, entre 1970 e o início da década de 80, efetuou diversas visitas aos sítios da baixada, onde juntamente com os alunos do curso de Geografia, realizou inúmeras intervenções principalmente em áreas secas, entre os esteios, coletando material cerâmico e lítico, que foram em grande parte dispersos. O referido professor levantou a hipótese que esses sítios foram ocupados por grupos da nação Nu-uraques e que teriam sido expulsos por grupos Tupis, mas especificamente pelos Guajajara, que historicamente ocupavam a região durante os primeiros contatos com os europeus (CORREIA LIMA, 1989).

Atualmente são conhecidos doze sítios que apesar de dispersos em uma região de 40.000 km de bacias lacustres geraram dados bastante limitados até o momento. Alguns modelos explicativos podem ser sugeridos a partir de hipóteses levantadas no passado e em tempos mais recentes sobre os padrões de assentamento, as práticas econômicas e culturais e o modo de vida observado pelas populações de então, embora informações sobre densidade populacional, mobilidade espacial e organização social, por exemplo, não possam ser inferidas (CALDARELLI ; LEITE FILHO, 2003).

Provavelmente, eram grupos intrusivos na região, porém se desconhece se formavam um conjunto de aldeias autônomas ou mantinham algum tipo de vinculação política; ou mesmo, se foram contemporâneos ou os sítios tenham sido sequencialmente

ocupados em diferentes espaços cronológicos. A hipótese mais plausível é que por questões de segurança tenham se estabelecidos no interior dos lagos sobre as águas, em ocupações de caráter mais permanente, descartando-se em princípio a sazonalidade das mesmas, tendo em vista o trabalho empregado na construção dessas estruturas (LEITE FILHO ; LEITE, 2005).

### 3 METODOLOGIA GEOFÍSICA

Antes de dar início à aplicação de métodos geofísicos foi feito um levantamento preliminar no sítio arqueológico Lago da Lontra por parte dos arqueólogos que nos permitiu identificar as melhores características para aplicação dos métodos geofísicos, baseado nas espessuras dos estratos, nos tipos de ocorrência de materiais, na espessura das camadas arqueológicas, tipo de solo, entre outras características principais.

Os dados tratados nesta pesquisa foram gerados através de levantamentos terrestres, onde se utilizaram os métodos geofísicos eletromagnético (GPR) e magnético (Magnetometria).

#### 3.1 MAGNETOMETRIA

O Método Magnético usa como fonte natural o campo magnético da Terra e foi um dos primeiros métodos geofísicos empregado em prospecção. Mudanças locais no campo magnético terrestre resultam de variações no conteúdo mineral magnético de rochas próximas da superfície (LUIZ ; SILVA, 1995).

A magnetometria é um método criado para, através da medição do campo magnético da Terra, auxiliar no mapeamento de estruturas geológicas que se localizam em subsuperfície. No caso de estudos arqueológicos, o interesse não é por rochas, mas sim por restos de materiais cerâmicos magnetizáveis enterrados, e uma vez soterrados a alguma profundidade (alguns poucos metros) agem como fonte de anomalia magnética.

Acredita-se que o Método Magnético tenha sido um dos primeiros métodos geofísicos a serem usados na prospecção, realizadas na Suécia em 1940, cujo propósito era detectar depósitos de Ferro (Fe) e consistiam na observação da variação da declinação magnética com bússolas náuticas. Mais tarde, em 1870, este método foi aperfeiçoado com a construção de instrumentos capazes de medir variações dos componentes horizontal e vertical do campo magnético e da sua inclinação (LUIZ ; SILVA, 1995).

Atualmente, medidas muito precisas da intensidade do campo e de suas componentes são realizadas por instrumentos bastante especializados, os chamados magnetômetros (LUIZ ; SILVA, 1995).

As medidas magnéticas podem também ser realizadas no arranjo gradiométrico usando-se dois magnetômetros idênticos, espaçados de uma pequena distância fixa em relação às fontes de anomalia sob investigação. A diferença na intensidade do campo, medida nos dois sensores, é dividida pela distância entre eles para fornecer o gradiente (em nT/m) do ponto médio entre sensores (LUIZ ; SILVA, 1995). Nos levantamentos terrestres, a distância entre os sensores é comumente de 1 a 2 m e na maioria dos levantamentos é medido o gradiente magnético vertical, conforme ilustra a figura 3.1.



Figura 3.1 – Medidas do gradiente vertical do campo magnético em um levantamento.

Definido como a força que “experimenta” um polo magnético  $P_1$  devido à presença no espaço de outro polo magnético  $P_2$ , a intensidade do campo magnético ( $\vec{H}$ ) será:

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{P_1} = \frac{1}{\mu} \frac{P_2}{r^2} \hat{r} \quad (3.1)$$

Assim, quando um material é submetido ao efeito do campo magnético terrestre ( $\vec{H}$ ), ele adquire uma intensidade de magnetização ou imantação ( $\vec{M}$ ), proporcional ao campo, dado por:

$$\vec{M} = \chi_m \vec{H} \quad (3.2)$$

em que  $\chi_m$  é a susceptibilidade magnética do material.

A susceptibilidade magnética é um dos parâmetros fundamentais no Método Magnético. Para um mesmo valor do campo, os materiais com maior susceptibilidade estão aptos a se magnetizarem mais fortemente, fato este que pode ser percebido facilmente na equação (3.2), isto é, quanto maior for o valor referente à susceptibilidade do material, mais forte será sua intensidade de magnetização. Em alguns materiais ela pode ser positiva e em outros negativa, refletindo o sentido da intensidade de magnetização ( $\vec{M}$ ), em relação ao campo terrestre. A Tabela 1 mostra a susceptibilidade magnética de alguns minerais mais encontrados na natureza.

Tabela 1 - Susceptibilidade magnética de alguns minerais.

<b>Minerais</b>	<b>Variação x10<sup>-6</sup> emu</b>	<b>Média x10<sup>-6</sup> emu</b>
<b>Grafita [C]</b>	-	-8
<b>Quartzo [SiO<sub>2</sub>]</b>	-	-1
<b>Anidrita [CaSO<sub>4</sub>]</b>	-	-1
<b>Carvão [C]</b>	-	2
<b>Calcopirita [CuFeS<sub>2</sub>]</b>	-	32
<b>Cassiterita [SnO<sub>2</sub>]</b>	-	90
<b>Pirita [FeS<sub>2</sub>]</b>	4-420	130
<b>Hematita [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]</b>	40-3000	550
<b>Pirrotita [FeS]</b>	10 <sup>2</sup> -5x10 <sup>5</sup>	125000
<b>Magnetita [Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>]</b>	10 <sup>5</sup> -1,6x10 <sup>6</sup>	5x10 <sup>5</sup>

Fonte: Adaptado de (LUIZ ; SILVA, 1995).

Os minerais magnéticos responsáveis pela magnetização da cerâmica e a consequente distorção do campo magnético terrestre, observada nos trabalhos de prospecção magnética, são basicamente magnetita e maghemita, encontradas em estruturas de argila queimada como: fornos, vasos cerâmicos, carvão e urnas funerárias.

Quando um material sofre magnetização induzida, causada pela atuação de um campo magnético externo, ela provoca o alinhamento dos momentos de dipolo internos ao material sob sua atuação. Esse alinhamento provoca o aparecimento de um campo

adicional. Este campo, somado ao campo externo ( $\vec{H}$ ) dá origem a um novo campo chamado de indução magnética ( $\vec{B}$ ) que se relaciona com o campo terrestre da seguinte maneira:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (3.3)$$

sendo  $\mu$  a permeabilidade magnética do material está relacionada, no sistema cgs, à susceptibilidade magnética  $\chi_m$  por:

$$\mu = 1 + 4\pi\chi_m \quad (3.4)$$

desse modo, a equação 3.3 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{M} \quad (3.5)$$

Na magnetização da argila ocorre o mesmo princípio: após o aquecimento para preparação de artefatos cerâmicos, os momentos magnéticos dos minerais presentes na argila tendem a se alinhar com o campo magnético da Terra, criando magnetização termo-remanente no artefato. Essa magnetização é responsável pelas anomalias observadas nos levantamentos magnéticos (CLARK, 1986).

Nos sítios arqueológicos, as anomalias magnéticas também podem ser causadas pelo aquecimento do solo produzido por fogo, que destrói ou modifica as características magnéticas dos minerais presentes, criando no local uma zona com magnetização diferente da encontrada nos seus arredores.

### 3.2 MEDIDAS DO CAMPO MAGNÉTICO

Devido à divergência na forma como é definido o magnetismo nos sistemas cgs e mks, existe uma grande confusão no uso de unidades no Método Magnético. Pois o sistema cgs (usado pela maioria dos autores na área, inclusive nessa pesquisa) entende o magnetismo como um fenômeno primário, onde a existência de polos magnéticos e

todas as outras grandezas surgem a partir desse. Já no mks, o magnetismo é tido como uma sequência decorrente de cargas elétricas em movimento (SILVA, 1986).

Apesar de o mks ser atualmente o sistema padrão internacional, de acordo com Silva (1986), ele é recomendável apenas para fins de uniformização, não sendo conveniente em magnetometria. A unidade de  $\vec{B}$  no sistema internacional é o Tesla (T) e no cgs é o Gauss (G), existindo uma relação entre as mesmas em que 1G corresponde a  $10^{-4}$  T. Para propósitos geofísicos usa-se o nanotesla ( $nT=10^{-9}T$ ).

Na prospecção magnética podem ser realizadas medidas das intensidades do campo total da Terra, ou de qualquer uma de suas componentes, além de medidas de gradientes do campo (variações horizontais ou verticais do campo). Um dos instrumentos mais usados para medir o campo magnético é o Magnetômetro de Precessão de Prótons (mede apenas o campo total em módulo), conforme já foi mencionado no item 3.2 desse mesmo capítulo, que consiste basicamente de um sensor, contendo uma fonte de prótons (água, metanol, álcool etílico, querosene, entre outros) e um contador eletrônico. Uma descrição completa desses equipamentos pode ser encontrada em Luiz e Silva (1995), Dobrin e Savit (1988), Silva (1986) e Marek (1984).

### 3.3 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

O Radar de Penetração no Solo (GPR) é um método eletromagnético de investigação do subsolo não destrutivo e não invasivo, que vem sendo muito utilizado ultimamente para a investigação de camadas próximas da superfície, por ser rápido, prático, econômico e oferecer uma alta resolução, que permite obter grandes detalhes e informações sobre feições geológicas.

O método consiste na emissão de pulsos eletromagnéticos (espectros com frequência variando entre 10 e 2500 MHz) através de uma antena, denominada de transmissora (Tx) que irradia continuamente, ondas eletromagnéticas à subsuperfície, que sofrem refração, difração e reflexão. Enquanto a onda se propaga no meio, as interfaces entre materiais de diferentes propriedades eletromagnéticas causam interferências no campo de onda original.

Assim, parte da energia da onda será refletida e/ou difratada e outra parte continuará percorrendo as maiores profundidades até ser totalmente absorvida pelo meio



e parte do sinal que foi refletido à superfície é capturada por uma antena receptora (Rx), conforme visto na figura 3.2.

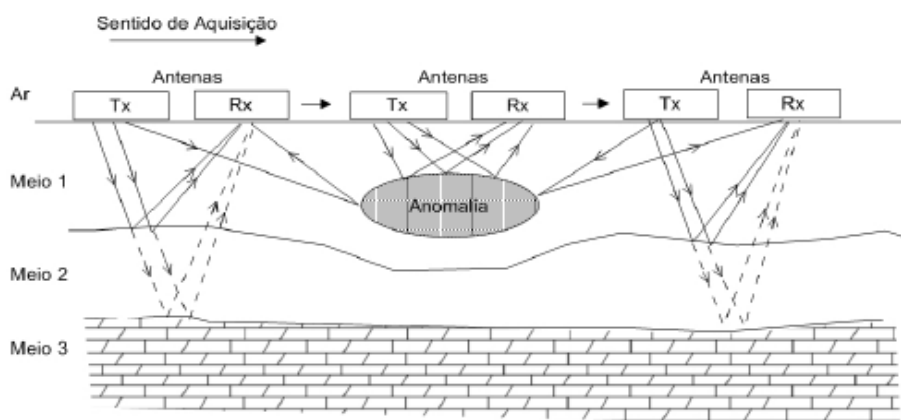


Figura 3.2 - Esquema do comportamento das ondas eletromagnéticas transmitidas para a subsuperfície. Fonte: Adaptado de Davis Annan (1989).

A antena receptora capta os sinais refletidos em uma escala vertical baseada no tempo e os grava em um dispositivo de armazenamento digital, registrando estas chegadas em diferentes pontos da superfície, gerando uma sequência de traços ou “*scans*”, a representação dos scans obtidos ao longo de um perfil fornecem as seções 2D denominadas radargramas (Figura 3.3).

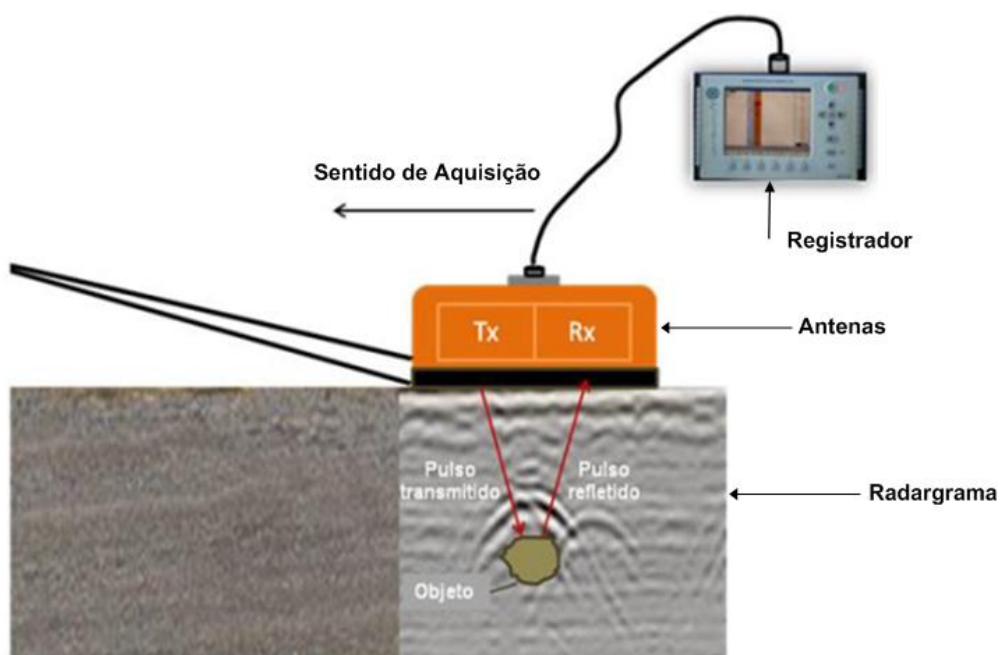


Figura 3.3 – Registro e armazenamento das ondas de GPR. Fonte: Adaptado de Duarte, 2011.

A Tabela 2 mostra alguns materiais com diferentes propriedades eletromagnéticas, bem como a velocidade de propagação da onda eletromagnética e sua atenuação.

**Tabela 2** – Valores de permissividade elétrica relativa ( $\epsilon_r$ ), condutividade elétrica ( $\sigma$ ), velocidade de propagação ( $v$ ) e constante de atenuação ( $\alpha$ ), determinados em materiais comuns para as frequências mais utilizadas no GPR (DANIELS, 1996).

Material	$\epsilon_r$	$\sigma$ (mS/m)	$v$ (m/ns)	$\alpha$ (dB/m)
Água fresca	81	0,5	0,033	0,1
Ar	1	0	0,3	0
Argila	5 - 40	2 - 1000	0,06	1 - 300
Concreto	4 – 100	1 – 0,1	0,1	0,5 – 2,5
Metal	300	$10^{10}$	0,017	$9,5 \times 10^8$
PVC	3,3	0	0,11	0
Solo argiloso saturado	15	50	0,07 - 0,09	21
Solo argiloso seco	2,4	0,27	0,19	0,28

O método produz as melhores respostas em ambientes geológicos com baixa condutividade (menos de 0,001 S/m); por isso materiais como areia e rocha cristalina são ambientes que propiciam uma maior profundidade de investigação. Já os solos ricos em argila e silte, e os solos com poros preenchidos com água com alguma salinidade, que fazem aumentar a condutividade do meio, contribuem para diminuir a profundidade de investigação (DAVIS; ANNAN, 1989).

A resolução do método para objetos enterrados na subsuperfície está relacionada ao seu tamanho, à orientação em relação às antenas, ao contraste entre as propriedades eletromagnéticas (condutividade elétrica, permissividade dielétrica e permeabilidade magnética) dos meios geológicos, ao ruído associado à radiofrequência, a frequência das antenas e outras interferências.

Os parâmetros que influenciam nas medidas de GPR são: a permissividade elétrica relativa do meio, a condutividade, a permeabilidade magnética e a frequência da emissão. A frequência é o único parâmetro controlado pelo operador, geralmente dependendo do equipamento utilizado, os demais parâmetros são dependentes do meio observado.

A condutividade elétrica e a permissividade dielétrica são importantes porque interferem na atenuação e propagação das ondas GPR, respectivamente (ANNAN,

2001). A profundidade de investigação pode variar desde centímetros, em terrenos muito argilosos, a até quilômetros no gelo polar.

Como o método GPR opera através da transmissão de pulsos eletromagnéticos gerados pela antena transmissora do equipamento, vários fenômenos ondulatórios ocorrem, tais como, a propagação, transmissão e reflexão do sinal. Tais fenômenos são regidos por vários fatores, como, as propriedades elétricas do solo (condutividade elétrica ( $\sigma$ ), permeabilidade magnética ( $\mu$ ) e permissividade elétrica ( $\epsilon$ )), impedância elétrica, frequência do pulso, conteúdo de água, geometria das estruturas em subsuperfície, dentre outros.

O entendimento desses fenômenos durante a propagação no meio e interação da onda eletromagnética com as estruturas em subsuperfície é vital para a correta utilização do método e interpretação de dados, sendo assim, torna-se necessário o entendimento da teoria eletromagnética clássica de Maxwell.

Partindo das equações de Maxwell, que constituem a base da teoria eletromagnética, associado às relações constitutivas da matéria, que nos fornece as características físicas do meio e supondo que os campos elétrico e magnético variam harmonicamente com o tempo, e que, sendo, obtém-se a seguinte equação da onda (Equação de Helmholtz) para o campo elétrico:

$$\nabla^2 \vec{E} + k^2 \vec{E} = 0 \quad (3.6)$$

em que  $k$  é o número de onda, parâmetro no qual estão associadas todas as características físicas de um determinado meio, dado por:

$$k^2 = -i\omega\mu\sigma + \omega^2\mu\epsilon \quad (3.7)$$

em que  $\omega$  é a frequência angular que corresponde a  $2\pi f$  ( $f$  é a frequência da onda emitida pela antena transmissora, em Hz),  $\mu$  é a permeabilidade magnética do meio,  $\sigma$  é a condutividade elétrica,  $i$  é o complexo  $\sqrt{-1}$  e  $\epsilon$  é a permissividade elétrica do meio.

A parcela  $-i\omega\mu\sigma$ , da equação 3.7, corresponde ao termo de atenuação da onda do radar, dominante nos métodos de baixas frequências, enquanto que a segunda parcela,  $\omega^2\mu\epsilon$ , corresponde ao termo de propagação, dominante para as altas

frequências. Como o GPR trabalha com altas frequências, o primeiro termo da equação 3.7 torna-se significativo e não pode ser desprezado como nos outros métodos eletromagnéticos de baixa frequência ( $< 20.000$  Hz).

Resolvendo-se a equação de Helmholtz, é obtida a seguinte solução geral:

$$E = E_0 e^{i(\omega t - \alpha z)} e^{-\beta z} \quad (3.8)$$

sendo que  $E_0$  é a amplitude máxima da onda eletromagnética,  $z$  é a profundidade,  $\alpha$  e  $\beta$  são os termos que reúnem as propriedades eletromagnéticas do meio, definidos por (WARD; HOHMANN, 1987), temos:

$$\alpha = \omega \left\{ \frac{\mu\epsilon}{2} [(1 + tg^2\delta)^{1/2} + 1] \right\}^{1/2} \quad (3.9)$$

$$\beta = \omega \left\{ \frac{\mu\epsilon}{2} [(1 + tg^2\delta)^{1/2} - 1] \right\}^{1/2} \quad (3.10)$$

o termo,  $tg\delta = \frac{\sigma}{\omega\epsilon}$ , é denominado de tangente ou fator de perdas, onde  $\delta$  é o ângulo da diferença de fase entre o campo elétrico e a densidade de corrente, o qual expressa as perdas de energia pelo transporte de cargas, sendo obtidas, através da relação entre a corrente de condução ( $\sigma\vec{E}$ ) e a corrente de deslocamento ( $\omega\epsilon\vec{E}$ ) (OLHOEFT, 1996).

A onda eletromagnética se propaga no ar com a velocidade da luz (0,3 m / ns). Na terra, a velocidade das ondas electromagnéticas é reduzida uma vez que está dependente da permissividade elétrica relativa,  $\epsilon_r$ , da permeabilidade magnética relativa,  $\mu_r$ , e da condutividade elétrica,  $\sigma$ .

A permeabilidade magnética é o fator de proporcionalidade que relaciona o campo de indução magnética ( $\vec{B}$ ) e o campo magnético ( $\vec{H}$ ), onde comumente esse fator é apresentado ao usuário de GPR, como medida relativa, dada por,  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ , sendo,  $\mu$  e  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} H/m$ , respectivamente, a permeabilidade magnética do meio investigado e permeabilidade magnética no vácuo.

Outro fator de proporcionalidade que relaciona o vetor deslocamento de elétrico ( $\vec{D}$ ) e o vetor campo elétrico ( $\vec{E}$ ) é denominado de permissividade elétrica, onde

comumente esse fator é apresentado ao usuário de GPR, como medida relativa, dada por,  $\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ , sendo,  $\varepsilon$  e  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$ , respectivamente, a permissividade elétrica do meio investigado e permissividade elétrica no vácuo (REYNOLDS, 1997).

A velocidade de propagação da onda eletromagnética no meio é dada pela expressão:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r \frac{1 + \sqrt{1 + tg^2 \delta}}{2}}} \quad (3.11)$$

em que  $c$  é a velocidade da onda electromagnética no vácuo (0,3 m / ns). Como o GPR somente produz bons resultados em meios com valores baixos de condutividade e trabalha com frequências muito elevadas, a expressão  $tg \delta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon}$  tem valores próximos de zero. Desse modo, em meios não magnéticos, ( $\mu_r = 1$ ), a velocidade da onda se reduz a:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (3.12)$$

A Tabela 3 apresenta as profundidades de penetração normalmente encontradas em alguns materiais, calculadas para valores médios de condutividade desses materiais.

**Tabela 3** – Áreas de aplicação do GPR, frequência central das antenas (recomendada) para aplicação e estimativa da profundidade de penetração corespondente (adaptada de GSSI, 2003).

Área de aplicação	Frequência Central (MHz)	Profundidade de penetração (m)
Engenharia – Inspeção em concreto	1500	1
Engenharia – Identificação de vazios em concreto	900	2
Arqueologia, Engenharia e Meio Ambiente.	400	4
Arqueologia, Geologia, Engenharia e Meio Ambiente.	270	6
Arqueologia, Geologia, Engenharia e Meio Ambiente.	200	7
Geologia, Engenharias e Mineração.	100	20
Geologia	16-80	25-35

Conhecida, a propagação e a profundidade de investigação do método torna-se necessário saber como se dá a reflexão, pois é através desta que os objetos ou estruturas geológicas são identificados. Quando a onda eletromagnética se propaga no meio e encontra descontinuidades elétricas, magnéticas ou condutivas ela sofre sucessivas reflexões e refrações, como já descrito anteriormente. As reflexões e as refrações sofridas pela onda provocadas pela variação das propriedades eletromagnéticas do meio, ao penetrar a subsuperfície, são acopladas normalmente em um parâmetro chamado impedância intrínseca. A impedância intrínseca de um meio é definida por (ANNAN, 2001):

$$Z = \frac{\sqrt{i\omega\mu}}{\sqrt{\sigma+i\omega\varepsilon}} \quad (3.13)$$

A quantidade de energia eletromagnética refletida é proporcional à magnitude das mudanças eletromagnéticas do meio, esta quantidade de onda refletida é controlada pelo coeficiente de reflexão. Após, a energia ser refletida parte retorna à posição onde se encontra a antena receptora, a qual registra o sinal. O coeficiente de reflexão  $K$  é determinado por meio da seguinte expressão:

$$K = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (3.14)$$

em que  $Z_1$  e  $Z_2$  representam as impedâncias dos meios 1 e 2, respectivamente.

Em materiais de baixa perda, a equação 3.13 pode ser simplificada para:

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \quad (3.15)$$

Nas aplicações com GPR, onde se necessita de condutividades muito baixas (menor que  $10^{-3}$  Siemens/metro) e empregam frequências elevadas, o coeficiente de reflexão  $K$  pode ser escrito da seguinte maneira:

$$K = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r2}} - \sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\varepsilon_{r2}} + \sqrt{\varepsilon_{r1}}} \quad (3.16)$$

sendo comumente simplificado para:

$$K = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} \quad (3.21)$$

em que  $v_1$  e  $v_2$  representam as velocidades da onda nos meios 1 e 2, respectivamente.

A condutividade elétrica dos materiais do solo ou rocha provoca significantes perdas de propagação do sinal GPR, conforme seu valor aumenta, já a permissividade elétrica influencia na velocidade da onda numa razão inversa. Isso ocorre devido à absorção de energia (atenuação), o que limita a profundidade de penetração do radar. A profundidade de investigação e a resolução do GPR dependem da frequência da antena. Quanto maior a frequência, menor a profundidade de investigação e melhor a resolução da imagem.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 MAGNETOMETRIA

O levantamento de magnetometria consistiu de medidas do gradiente vertical do campo magnético. As medidas magnéticas foram realizadas com magnetômetro de precessão de prótons GEOMETRICS, modelo G-856 AX Memory-Mag. As medidas foram dispostas de modo a formar uma grade quadrada de 2,5 m de lado sobre linhas igualmente espaçadas de 80 m de comprimento e orientadas na direção W-E, totalizando 53 linhas e cobrindo uma área de 10.400 m<sup>2</sup>.

Observa-se no mapa magnético (Figura 4.1) uma série de anomalias, variando de -33 nT até 11 nT, sendo que o intervalo de contorno utilizado foi de 0,6 nT. Tais anomalias contrastam intercaladamente em regiões negativas, variando de 0 a -33 nT, com regiões positivas, variando de 0 a 11 nT, que podem estar relacionadas a material cerâmico.

As seguintes anomalias foram detectadas e recomendadas para escavações arqueológicas: [A] forte anomalia positiva com variação entre 9 nT e 11 nT limitada pelas linhas 50 e 55 e as estações 30 e 37,5, que pode estar relacionada com material cerâmico procurado; [B] forte anomalia negativa com pico variando entre 0 e -33 nT limitada pelas linhas 105 e 110 e as estações 30 e 35; [C] anomalia positiva cujas variações estão entre 1 e 4 nT com centro na linha 75 e estação 25; [D] anomalia com picos positivos entre 0 e 3 nT centrada na linha 50 e estação 60; [E] anomalia positiva alongada com picos entre as linhas 20 e 25 estendendo-se da estação 0 a 15; [F] anomalia alongada com picos positivos entre as estações 35 e 45 centrada na linha 40; [G] anomalia positiva com centro na linha 25 entre as estações 70 e 75; [H] anomalia positiva com limites entre as estações 55 e 60 centrada na linha 130.



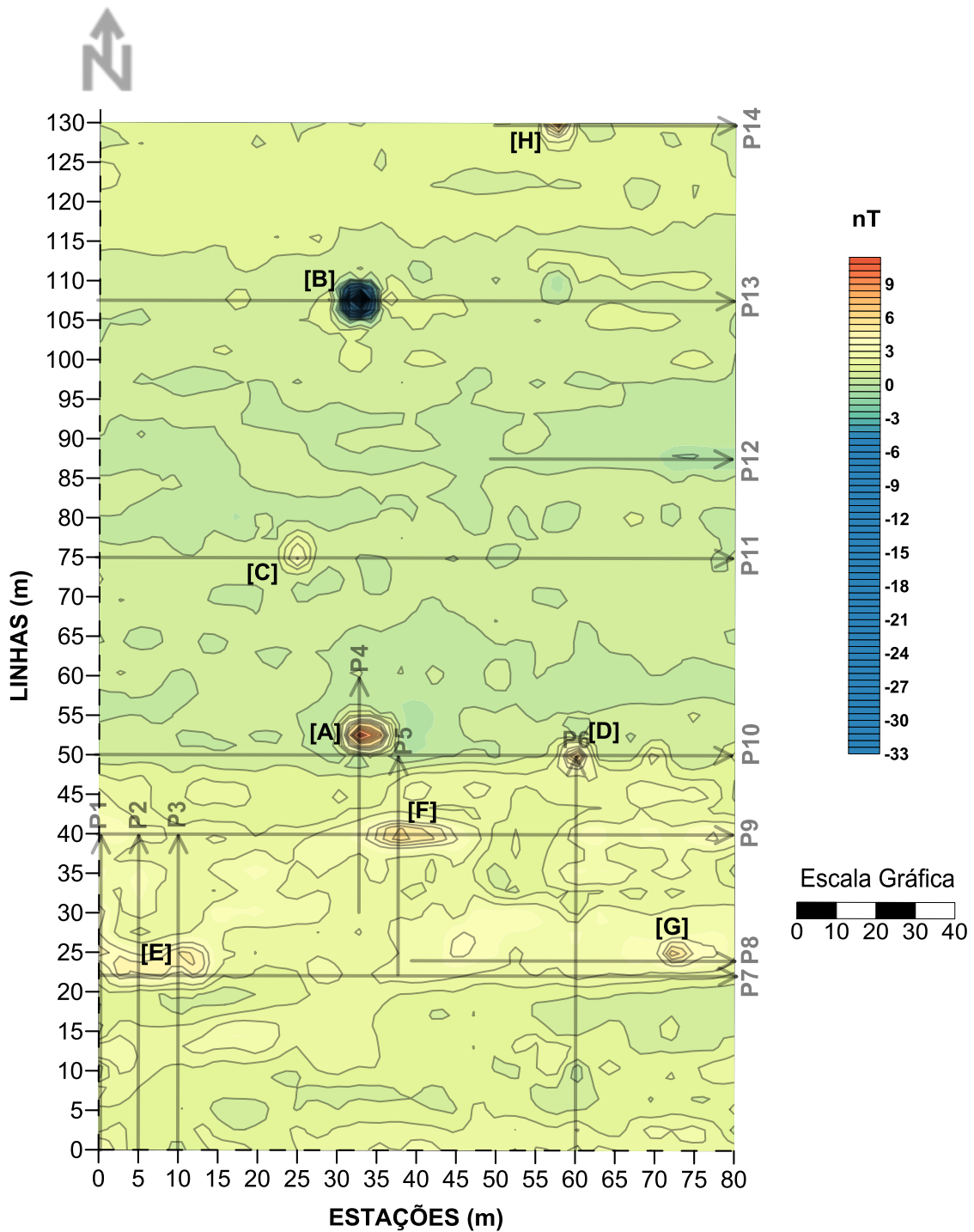


Figura 4.1 – Mapa Magnético da área do sítio Lago da Lontra juntamente com o posicionamento dos perfis de GPR.

Com base no mapa magnético, foram sugeridas oito zonas para escavações arqueológicas, marcadas como: [A], [B], [C], [D], [E], [F], [G] e [H]. No entanto, por ser um sítio estuarino, no período chuvoso, o mesmo ficou submerso e só foi possível realizar as escavações [A], [B], [C], [D] e [E].

#### 4.2 RADAR DE PENETRAÇÃO NO SOLO (GPR)

Para as medidas de GPR utilizada neste trabalho foram utilizadas antenas de 400 MHz por possibilitar uma profundidade de investigação esperada para os artefatos arqueológicos no sítio estuarino (inferior a 2 m). O equipamento empregado foi o TerraSIRch SIR (Subsurface Interface Radar) System-3000 fabricado pela GSSI (Geophysical Survey Systems, Inc.), cujas medidas na área estudada foram realizadas ao longo de perfis no modo tempo com as antenas na configuração separação constante (*common offset*). O controle da distância e posicionamento das medidas foi feito a partir da inserção de marcas no registro a intervalos 10 m controladas por trena (Figura 4.2).



Figura 4.2 - Levantamento com GPR.

O comprimento dos perfis foi escolhido de modo a cobrir as anomalias evidenciadas no mapa magnético. A investigação foi feita em 14 perfis ao longo das linhas, com marcações a intervalos de 10 m e janela de tempo de 50 ns para os perfis que estão na direção S-N e 60 ns para os que estão na direção W-E.

O processamento dos dados adquiridos com o GPR foi feito por meio do software ReflexW, versão 7.0 da K. J. Sandmeier com a finalidade de melhorar a visualização e interpretação dos registros.

Inicialmente foi feita a interpolação das marcas para obtenção de espaçamento uniforme entre as medidas, correção estática ou ajuste do tempo zero (posição da superfície do terreno); aplicação de filtros 1-D: *subtract-mean (dewow)* e *Passa-Faixa Butterworth* com cortes de 200 MHz e 800 MHz; Ganho “Decaimento de Energia”; filtros 2-D: *running average* e *background removal*; determinação da velocidade de propagação da onda eletromagnética usando o método de sobreposição de hipérbolas e conversão da escala vertical de tempo em profundidade.

A seguir apresenta-se uma descrição dos radargramas obtidos ao longo dos perfis de GPR na área do sítio, os quais apresentaram zonas anômalas relacionadas às anomalias do mapa magnético. Essas anomalias são caracterizadas por formas hiperbólicas, arqueamentos e descontinuidades visualizadas no radargrama.

Foi adotada a seguinte nomenclatura: PX-400-50 para os perfis com as antenas de 400 MHz e janela de amostragem de 50 ns; PX-400-60 para os perfis com as antenas de 400 e janela de amostragem de 60 ns, sendo X o número do perfil.

### 4.3 PERFIS DE GPR

#### 4.3.1 Perfil 01

O perfil 1 (Fig. 4.3) foi executado na direção S-N limitado pelas linhas 0 a 40 e estação 0 e tem 40 m de comprimento. Notam-se três zonas: a primeira entre 4 e 6 m e entre 8 e 13 m onde percebem-se pequenas ondulações nas camadas em seguida uma zona onde há uma leve descontinuidade no acamamento das camadas, entre 22 e 28 m (retângulo tracejado ) atingindo uma profundidade de aproximadamente 0,5 m, possivelmente associada à anomalia magnética [E].

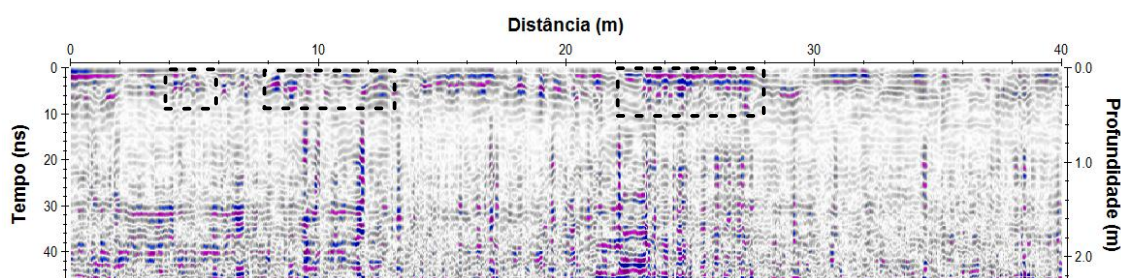


Figura 4.3 - Perfil01-400-50

#### 4.3.2 Perfil 02

O perfil 2 (Fig. 4.4) também tem a direção S-N limitado pelas linhas 0 a 40 e estação 5, mede 40 m de comprimento e é paralelo ao perfil 1. Destacam-se no radargrama deste perfil duas zonas: a primeira localizada a 10 m do início do perfil, onde percebemos uma descontinuidade no acamamento das camadas (retângulo tracejado), estendendo-se até 18 m e uma segunda zona, esta atenuada entre 22 e 28 m (linha tracejada), próximo à anomalia magnética [E], semelhante ao perfil 1. Destaca-se também no perfil a presença de um forte refletor a 34 m do início do perfil marcado pela elipse tracejada.

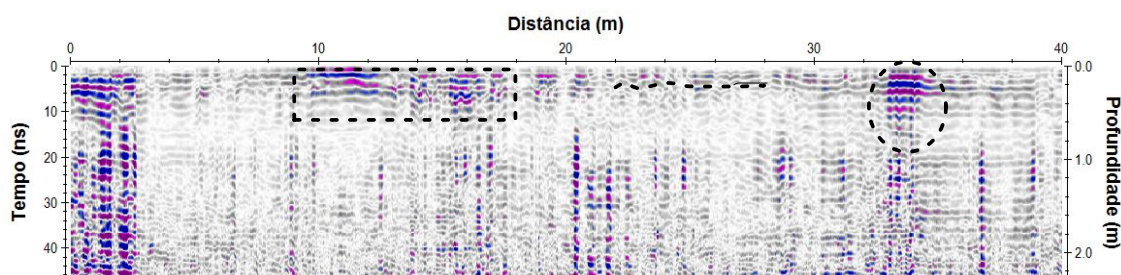


Figura 4.4 - Perfil02-400-50

A anomalia magnética [E], observada no mapa magnético da figura 4.1, foi investigada através da escavação arqueológica realizada sobre a mesma que confirmou a descontinuidade no acamamento das camadas (linha branca tracejada) indicadas pelo GPR e também revelou fragmentos de cerâmica (elipse branca tracejada) conforme (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [E]

#### 4.3.3 Perfil 03

O perfil 3 (Fig.4.6) tem 40 m de comprimento na direção S-N e é paralelo aos perfis 1 e 2. No radargrama obtido nesse perfil, percebem-se duas zonas: a primeira entre as posições 0 e 10 m do perfil (linha tracejada) e a segunda, entre as posições 20 e 26 m do início do perfil (retângulo tracejado), local que correlaciona com a anomalia magnética [E] conforme foi observado nos perfis 01 e 02.

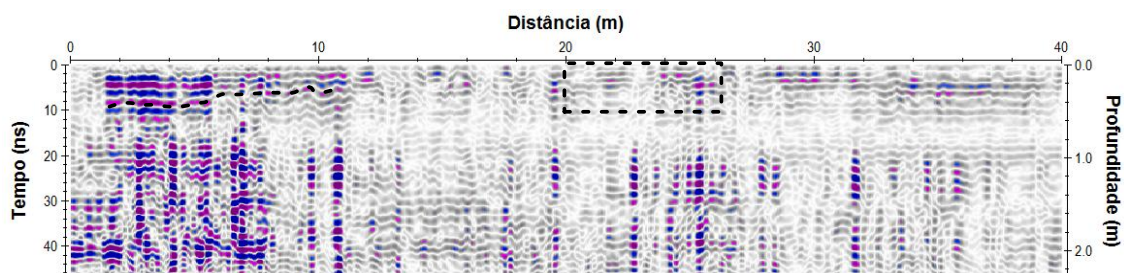


Figura 4.6 - Perfil03-400-50



#### 4.3.4 Perfil 04

O perfil 4 (Fig. 4.7) estende-se por 30 m na direção N-S. O radargrama obtido nesse perfil notam-se duas zonas: a primeira está localizada entre as posições 32 e 38 m do perfil (linha tracejada) e a segunda está entre 44 e 52m. Percebe-se, ainda, um refletor circular na marca 46 do perfil (elipse tracejada) , e uma anomalia pontual na posição 56 m, que corresponde ao local onde foi detectada a anomalia magnética [A].

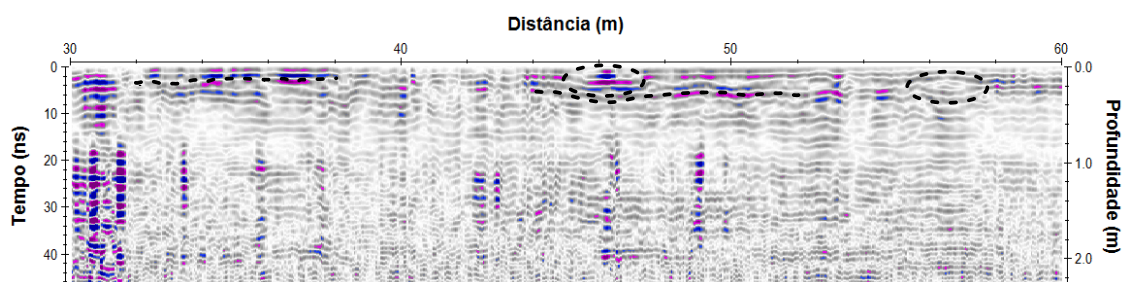


Figura 4.7 - Perfil04-400-50

Na escavação realizada sobre a anomalia magnética [A] limitada pela linha 50 e estação 35 (Figura 4.8), ocorreu a maior concentração de material arqueológico, com a camada de terra preta chegando a aproximadamente 0,3 m de espessura. Nesta escavação, cujas dimensões são 1 m x 3 m, foram encontrados um esteio de madeira a 16 m do início do perfil, que coincidiu com a evidenciada no radargrama, muitos fragmentos cerâmicos (maior elipse branca tracejada) e vasto material vegetal (carvão – menor elipse branca tracejada), este último foi coletado para datação.



Figura 4.8 - Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [A]

#### 4.3.5 Perfil 05

O perfil 5 (Fig. 4.9) tem 30 m na direção S-N, e é paralelo aos demais perfis citados anteriormente. Neste perfil foram observados: ondulações nas camadas entre as marcações 24 e 28, descontinuidades nas camadas entre 36 e 38 m do perfil que coincide com a anomalia magnética [F] (elipse tracejada) e descontinuidades de 44 a 480 m, que podem ser correlacionadas à anomalia magnética [A] apresentada no mapa magnético.

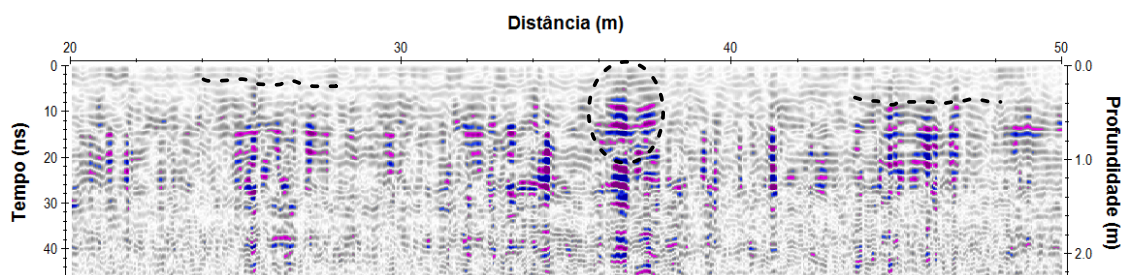


Figura 4.9 - Perfil05-400-50

#### 4.3.6 Perfil 06

O perfil 6, estende-se S-N ao longo de 50 m. Neste perfil (Fig. 4.10) aparece uma zona onde há uma descontinuidade no acamamento dos refletores, entre a posição 6 e 14 m (linha tracejada), ficando mais evidente na posição 10 m. É possível, ainda, visualizar descontinuidades e ondulações entre 18 e 24 m, atingindo uma profundidade de aproximadamente 0,3 m (linha tracejada), bem como descontinuidades localizada entre a posição 37 e 43 m do início do perfil (linha tracejada) podendo está associado a camada de argila e ondulações entre 48 e 50 m do perfil (retângulo tracejado)

que podem ser correlacionadas à anomalia magnética [D] apresentada no mapa magnético.

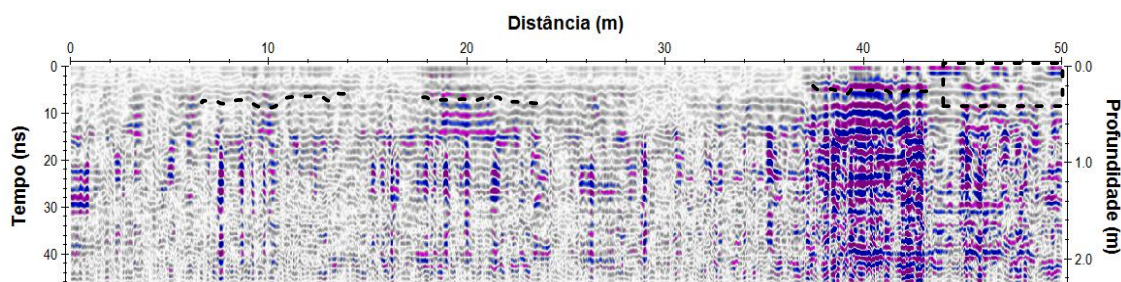


Figura 4.10 - Perfil06-400-50

Na escavação realizada sobre anomalia magnética [D] foi possível observar ondulações (linha branca tracejada), descontinuidade e arqueamento das camadas, além de material cerâmico e carvão (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [D]

#### 4.3.7 Perfil 07

O perfil 7 foi obtido cobrindo uma extensão de 80 m na direção W-E. Esse perfil passa perpendicularmente sobre os perfis 01, 02, 03, 05 e 06. O radargrama desse perfil (Fig. 4.12) mostrou as seguintes anomalias: descontinuidades entre 6 e 12 m (linha tracejada), podendo está relacionada a anomalia magnética [E], bem como ondulações das camadas entre as marcas 28 e 36 (retângulo tracejado), sendo mais visível a 32 m do início do perfil, e há, ainda, um arqueamento nas camadas que vai da posição 60 m até o término do perfil (linha tracejada), ficando mais evidente na posição 70 m, juntamente com descontinuidades nas posições 68 e 72 m podendo estar associado a anomalia magnética [G].



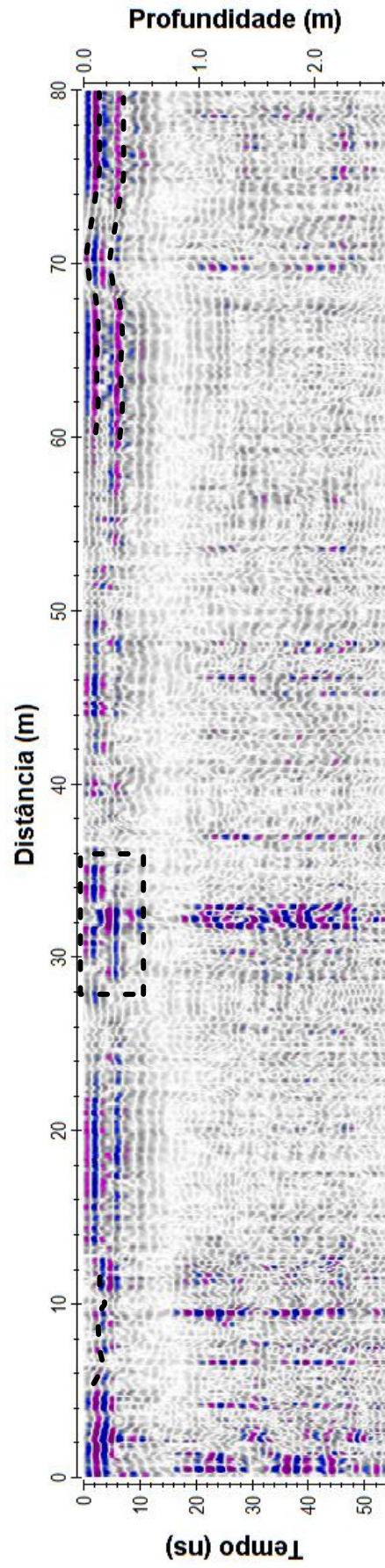


Figura 4.12 - Perf107-400-60

#### 4.3.8 Perfil 08

O perfil 8 tem direção W-E, possui 40 m de comprimento, perpendicular ao perfil 6 e paralelo ao perfil 7 limitado pelas estações 40 e 80 da linha 25. No radargrama (Fig. 4.13) obtido nesse perfil é possível visualizar ondulações e descontinuidades nas camadas no início do perfil (linha branca tracejada) até 8 m e um refletor hiperbólico (elipse branca tracejada) localizado a 10 m de distância do início do perfil, bem descontinuidades entre a posição 57 e 74 m ficando mais evidente entre 66 e 68 m atingindo uma profundidade de 0,4 m aproximadamente, concomitante ao arqueamento apresentado no perfil anterior, podendo estar associado a anomalia magnética [G] e ainda ondulações no final do perfil entre a posição 76 e 80 m.

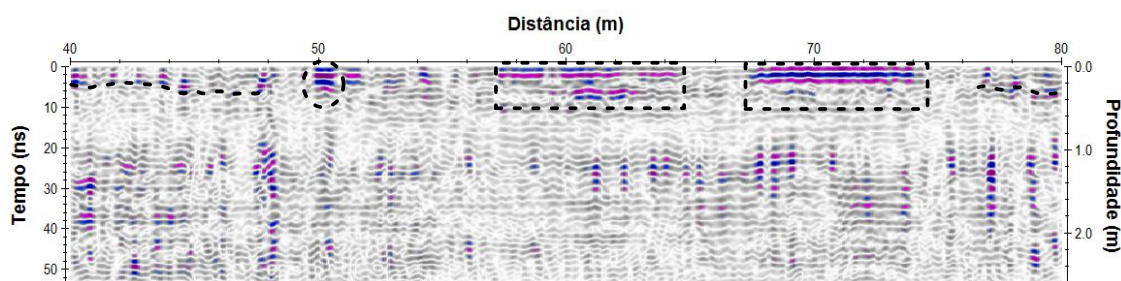


Figura 4.13 - Perfil08-400-60

#### 4.3.9 Perfil 09

O perfil 9 possui 80 m de comprimento e direção W-E localizado ao longo da linha 40 e estações 0 e 80 é perpendicular aos perfis 1, 2, 3, 4, 5, 6 e paralelo aos perfis 7 e 8. O radargrama (Fig. 4.14) obtido nesse perfil evidencia as seguintes anomalias: descontinuidades entre as posições 0 e 22 m, ficando mais evidente a uma distância de 20 m do início do perfil (elipse tracejada), bem como ondulações e descontinuidades nas camadas entre a posição 26 e 46 m (retângulo tracejado), principalmente na posição 40 onde percebemos o pico da anomalia magnética [F] alcançando uma profundidade de 0,4 m. É também evidente uma zona anômala localizada entre a posição 54 e 74 m (linha tracejada) apresentando descontinuidade significativa na posição 64.

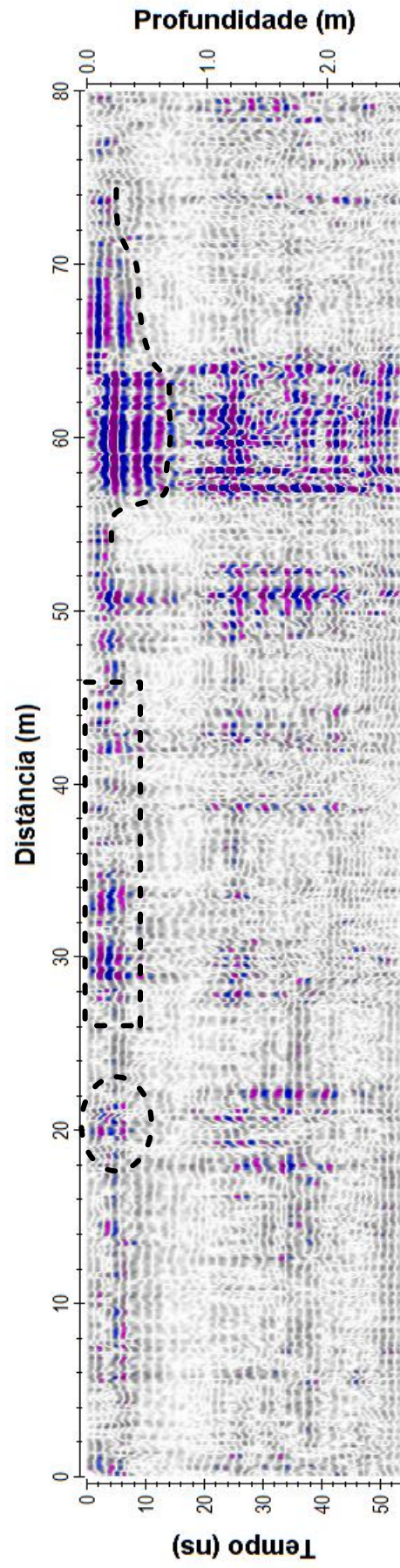


Figura 4.14 - Perfil09-400-60

#### 4.3.10 Perfil 10

O perfil 10 possui 80 m de comprimento e direção W-E localizado sobre a linha 50 e estações 0 a 80. Observam-se, nesse perfil (Fig. 4.15), as seguintes zonas anômalas: na primeira zona há uma descontinuidade no acamamento das camadas entre 10 e 16 m (retângulo tracejado) que correlacionam com fraca anomalia magnética, a segunda na posição 28 e 38 m (retângulo tracejado), próximas à anomalia magnética [A] com uma profundidade de 0,6 m, bem como uma terceira zona apresentando ondulações nas camadas entre a posição 48 e 62 m (linha tracejada) referente à anomalia magnética [D], ocasionada provavelmente pela presença de argila que é condutiva e finalmente, um zona onde também temos descontinuidades, entre a posição 66 e 72 m (elipse tracejada).

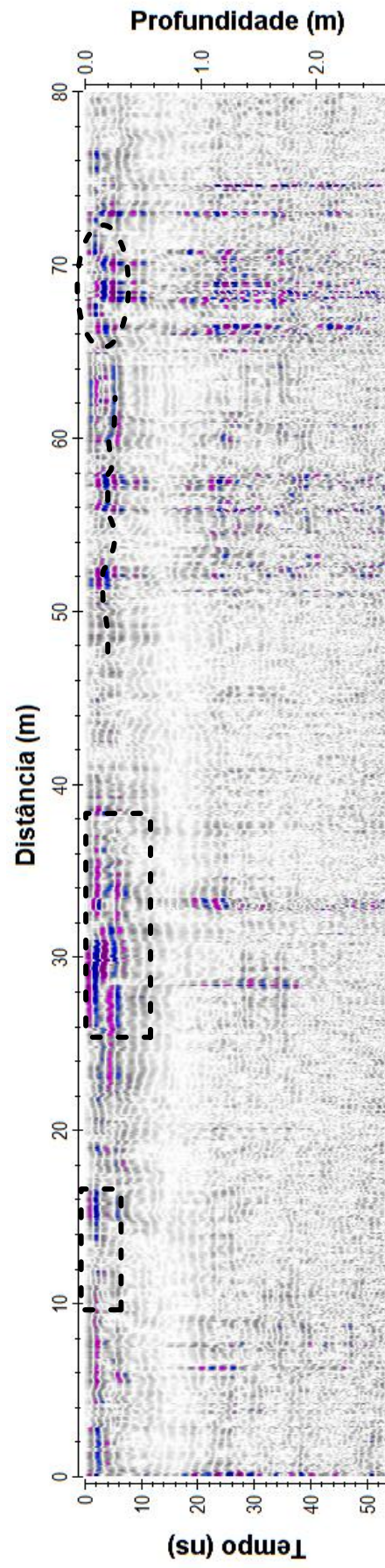


Figura 4.15 - Perfil10-400-60

#### 4.3.11 Perfil 11

O perfil (Fig. 4.16) 11 tem direção W-E, percorrendo 80 m de comprimento e é paralelo ao perfil 10, está localizado na região central do mapa magnético mais precisamente sobre a linha 75 entre as estações 0 e 80. O radargrama desse perfil mostrou as seguintes perturbações: duas zonas de descontinuidades; a primeira entre 10 e 34 m, esta região é similar a um canal e pode representar zona de preenchimento de material sendo que o pico da anomalia magnética [C] é percebido na posição 25 (elipse tracejada). Percebe-se também uma zona com leves descontinuidades que se estende da posição 32 m até o final do perfil (retângulo tracejado), provocada pela presença de uma fina camada de argila, cuja espessura é de aproximadamente 0,2 m conforme confirmado na escavação.



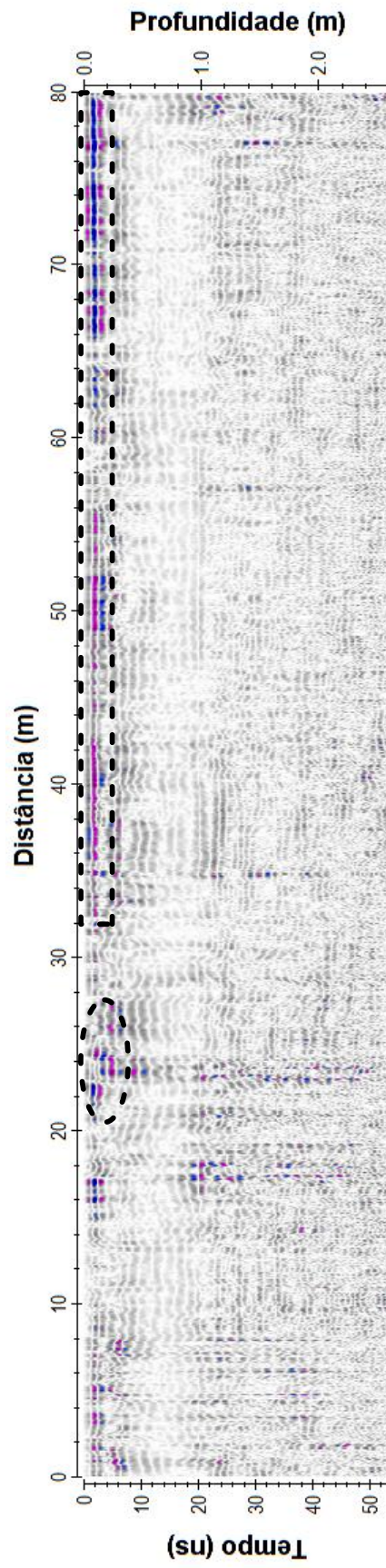


Figura 4.16 - Perfil 11-400-60

Na escavação realizada sobre anomalia magnética [C] percebemos a camada de argila apresentada no radargrama descrito anteriormente. Nesta escavação também foram encontrados muitos fragmentos cerâmico (bordas, base, alças, louças) e bastante material vegetal (carvão) conforme figuras 4.17a e 4.17b.

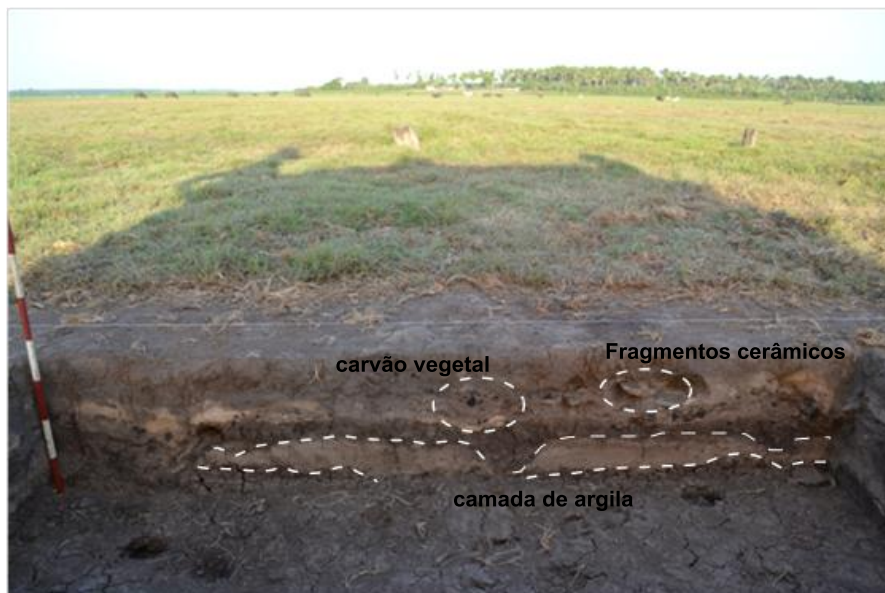


Figura 4.17a – Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [C] evidenciando a camada de argila.



Figura 4.17b – Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [C] evidenciando os fragmentos cerâmicos.



#### 4.3.12 Perfil 12

O perfil 12 possui 30 m de comprimento e direção W-E, é paralelo ao perfil 11 localizado entre as linhas 85 e 90 e as estações 50 e 80. No radargrama (Fig. 4.18) desse perfil notam-se, as seguintes zonas: a primeira localizada no início do perfil até a posição 59 m destacando-se a anomalia centrada na posição 57 m (quadrado tracejado), na segunda aparece descontinuidades entre a posição 62 e 72 m (retângulo tracejado) e por fim pequenas ondulações nas camadas entre 74 e 78 m (elipse tracejada) associada a fraca anomalia magnética .

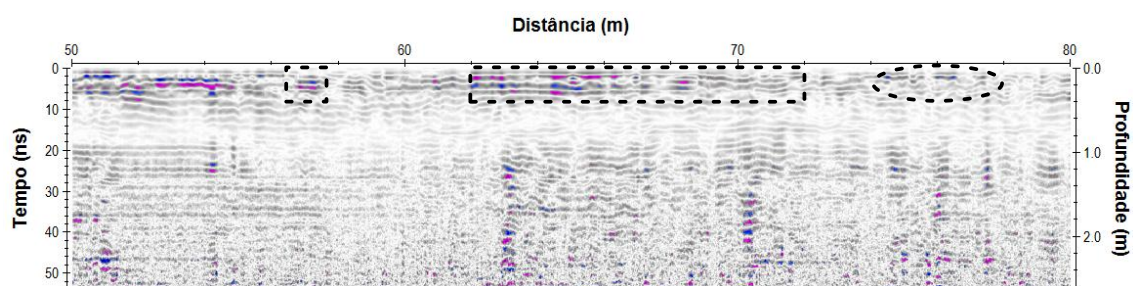


Figura 4.18 - Perfil12-400-60

#### 4.3.13 Perfil 13

O perfil 13 tem direção W-E e possui 80 m de comprimento é paralelo ao perfil 12 localizado entre as linhas 105 e 110 entre as estações 0 e 80. O radargrama (Fig. 4.19) obtido nesse perfil mostra uma zona anômala entre a posição 13 e 21 m (retângulo tracejado), bem como uma descontinuidade no acamamento das camadas na posição 33 e 35 m (elipse tracejada), conforme anomalia [B] vista no mapa magnético e confirmada pela escavação (Fig. 4.20), evidenciando a presença de carvão associado a uma fina camada de aproximadamente 0,2 m de espessura e também ondulações nas camadas entre as posições 66 e 80 m (retângulo tracejado).

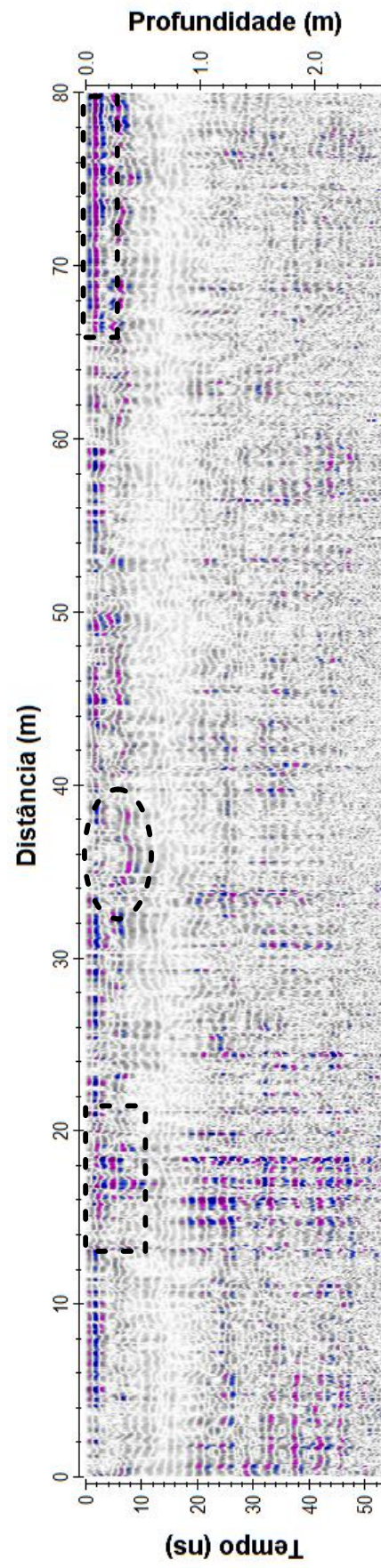


Figura 4.19 - Perfil13-400-60

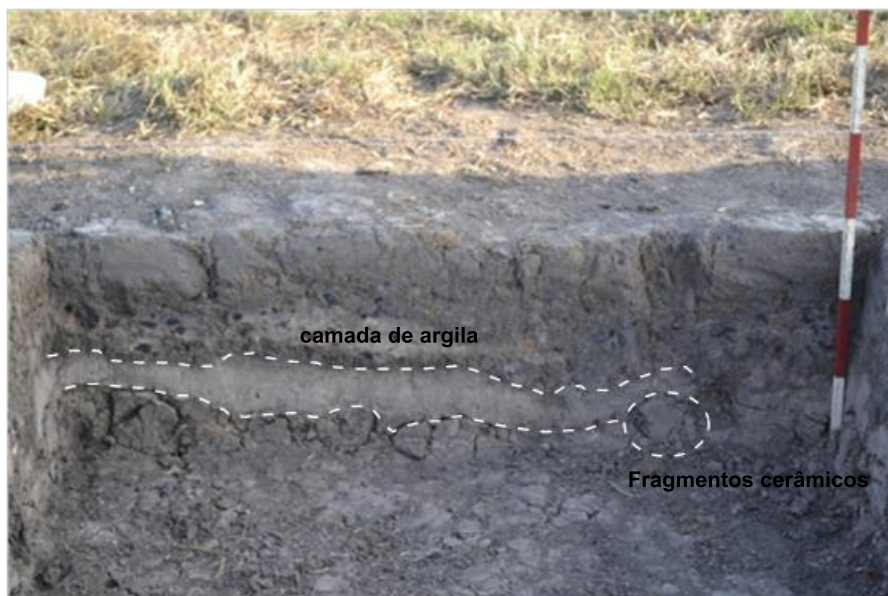


Figura 4.20 – Escavação arqueológica realizada sobre anomalia magnética [B].

#### 4.3.14 Perfil 14

O perfil 14 localiza-se sobre a linha 130 entre as estações 50 e 80, tem direção W-E e possui 30 de comprimento, paralelo ao perfil 13. Notam-se, no radargrama (Fig. 4.21), três zonas anômalas: a primeira entre a posição 55 e 60 m do início do perfil caracterizada por ondulações nas camadas (retângulo tracejado), concomitante a anomalia magnética [H], uma segunda zona 64 e 66 m onde percebemos camadas descontinuas e outra zona anômala que se estende da posição 69 até a posição 74 m onde também é possível notar ondulações e descontinuidades nas camadas.

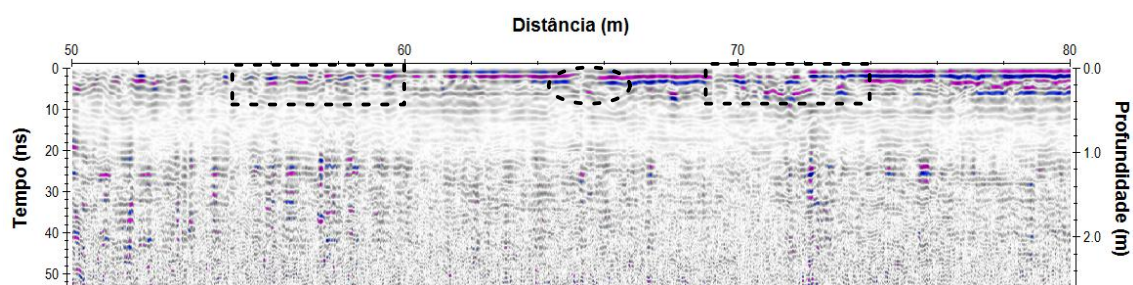


Figura 4.21 - Perfil14-400-60

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados neste trabalho permitiram verificar e avaliar a correlação entre os dados magnéticos e os perfis de GPR para indicar os possíveis locais de escavações arqueológicas.

O Método Magnético proporcionou bons resultados, pois conseguiu através das anomalias magnéticas detectadas, indicar os locais mais promissores para escavações arqueológicas. Consideramos que em condições adequadas é o método geofísico mais indicado para a realização de um estudo inicial em um sítio arqueológico devido à facilidade de operação e boa resposta aos alvos arqueológicos que neste trabalho eram constituídos de cerâmica, esteios e carvão vegetal.

O Método GPR possui excelente resolução em profundidade, mas necessita de informações preliminares para escolha adequada das linhas de levantamento. A correlação dos resultados do levantamento magnético e dos perfis de GPR facilitou consideravelmente a localização dos locais indicados para escavação arqueológica, reduzindo a probabilidade de erro que seria possível fazendo uso de apenas um método.

O material encontrado está sob a guarda do Centro de Pesquisa da História Natural e Arqueológica do Maranhão para análise e datação dos povos antigos que habitaram aquela região.

É importante salientar que a resposta geofísica, em alguns casos, é ambígua, por diversos fatores. Daí a cooperação entre geofísicos e arqueólogos na tentativa de minimizar tais ambiguidades na escolha dos locais para escavação arqueológica. A integração de métodos geofísicos aplicados no Sítio Lago da Lontra foi satisfatória na localização e prospecção de material arqueológico.

## REFERÊNCIAS

- AB' SÁBER, A. N. **O Litoral do Brasil**. São Paulo: Metalivros, 2001.
- \_\_\_\_\_. **Brasil: paisagens de exceção: o litoral e o pantanal mato grossense: patrimônios básicos**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2006.
- AITKEN, M. J. **Physics and archeology**. 2 ed. Oxford: Claredon Press, 1974, 181p.
- ALVES ; LOURENÇO, J. S. Métodos geofísicos aplicados à arqueologia no Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Geologia, n. 26, p. 1-52. 1981.
- ALVES, J. J. A. **Métodos geofísicos aplicados à arqueologia no Estado do Pará**. 1979. 55f. Dissertação (mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, Belém, 1979.
- ANNAN, A. P. **Ground Penetrating Radar**, Workshop Notes. Mississauga, Ontário – L4W 3R7 – CANADA, 2001. 197 p.
- ARAGÃO, R. C. **Metodologia geofísica aplicada à pesquisa de salvamento arqueológico nos sítios Bittencourt, Jambuaçu e Jaburu, Estado do Pará**. 2006. 60f. Dissertação (mestrado) - UFPA, Centro de Geociências, Belém, 2006.
- BALBY, R. A Cultura Neolítica de Penalva, 1985.
- BARRADAS, J. A., SCHAAN, D. P., AND LUIZ, J. G. Magnetic and GPR Survey to Identify Archaeological Features on Cacoal Site, Anajás River, Marajó Island, Pará, Brazil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SBGf, 6., 1999, Rio de Janeiro. **Resumo expandido**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: SBGf, 1999. 1 CD-ROM.
- BUENO, L. Variabilidade tecnológica nos sítios líticos do Lajeado. In: De BLASIS, P. ; ROBRAHN-GONZALEZ, E. **Programa de resgate arqueológico da UHE Lajeado**. 2003. v. 3, p. 65-93. (Relatório).
- CALDARELLI S. B. ; LEITE FILHO, D.C. As Primeiras datações de assentamentos de caçadores coletores de interior no Maranhão. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 12., 2003, São Paulo. **Comunicação apresentada**. São Paulo, 2003. (power point)
- CLARK, A. J. Archaeological geophysics in Britain. **Geophysics**, v.51, n.3, p.1404 – 1413. 1986.
- CORRÊA, M. V. M. Arqueologia e comunidade: uma experiência a ser reproduzida. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DA SOCIEDADE DA ARQUEOLOGIA BRASILEIRA, 6. 1991, Rio de Janeiro. **Resumo**. Rio de Janeiro, 1991. p. 95-102.
- CORREIA LIMA, O. **Pré-história Maranhense: antropoleontologia, arqueologia**. Ed. Gráfica Escolar, 111 p. 1989.
- DANIELS, D. J. **Surface-Penetrating Radar**. London: The Institution of Electrical Engineers, 300 p. 1996.

DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, **Geophysical Prospecting**, n.37, p. 531–551. 1989.

DIAS, L.J. B. S. et alli. Geologia, geomorfologia e unidades de paisagem da baixada Maranhense: uma revisão de concepções aplicadas ao planejamento Regional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E FÍSICA APLICADA, 11., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2005. p.1-12.

DOBRIN, M. B.; SAVIT, C. H. **Introduction to geophysical prospecting**. 4 ed. [s.1]: McGraw-Hill, 1988. 867 p.

DUARTE, G. M. **A viabilidade do método GPR para o mapeamento de camadas de bauxita laterítica em Paragominas-PA e goethita em Xambioá-TO**. 2011. 73 f. Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2011.

ESPÍRITO SANTO, J. M. (org). **São Luís: uma leitura da cidade**. São Luís: Instituto de Pesquisa e Planificação da cidade. Instituto da Cidade, 2006.

GEOPHYSICAL SURVEY SYSTEMS, INC. (GSSI) **Manual do terraSIRch SIR system-3000**. North Salem: [s.n.], 2003. 71 p.

LEITE FILHO, D. C.; LEITE, E. G. Ocupação pré-histórica da ilha de São Luís: a ocorrência de grupos ceramistas proto-tupi. **Boletim da Comissão Maranhense de Folclore**, São Luís, n. 32, p. 12-15. 2005.

LOPES, R. O Torrão Maranhense. **Typ do Jornal do Commercio**, Rio de Janeiro, 1916. 222 p.

\_\_\_\_\_. A Civilização Lacustre no Brasil. **Boletim do Museu Nacional**. Rio de Janeiro, 1924.

\_\_\_\_\_. **Uma Região Tropical**. Rio de Janeiro: Fon-Fon e Seleta, 1970. (Coleção São Luís- 2).

LUIZ, J. G. ; SILVA, L. M. C. **Geofísica de prospecção**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1995. v 1, 311p.

MARANHÃO. GEPLAN-LABOGEO-UEMA. **Atlas do Maranhão**. São Luis: Labogeo, 2002.

MAREK, F. Magnetometric Methods. In: MARÊS, S. **Introduction to applied geophysics**. Dordrecht: D. Ridel Publishing Company, 1984. p. 71-151.

MARQUES, C. A. **Dicionário histórico-geográfico da Província do Maranhão**. Rio de Janeiro: Cia Editora Fon-Fon e Seleta, 1970. (Coleção São Luís, 3)

MELO, M. S. **Geofísica aplicada à arqueologia**: Investigação no sítio histórico engenho Murucutu, em Belém, Pará. 2007. 100 f. Dissertação (mestrado em geofísica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2007.

OLHOEFT, G. R. Electrical, magnetic, and geometric properties that determine ground penetrating radar performance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GROUND PENETRATING RADAR, 6 th, 1996, Sendai, Japan. **Prospecting**. Sendai, Japan: Tohoku University, 1996. 1 CD-ROOM.

PORRO, A. **O povo das águas**. 1ª. ed. Petrópolis e São Paulo: Vozes e Edusp, 1996. v. 1. 204p.

PROUS, A. **Arqueologia Brasileira**. Brasília: Editora UNB, 1992.

\_\_\_\_\_. **O Brasil antes dos brasileiros**. A pré-história do nosso país. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2006.

REYNOLDS, J.M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. New York: John Willey & Sons, 1997. 806 p.

RIOS, L. **Geografia do Maranhão**. São Luís: Central de livros, 2005.

ROOSEVELT, A.C. **Moundbuilders of the Amazon**: geophysical archaeology on Marajo Island, Brazil. San Diego: Academic Press, 1991. 495p.

SILVA, J. B. C. **Métodos potenciais**: magnetometria. [s.1]: CPRM, 1986.

WARD, S.H.; HOHMANN, G.W. Electromagnetic theory for geophysical applications. In: NABIGHIAN, M.N. (Ed.) **Electromagnetic methods in applied geophysics - theory**, Society of Exploration Geophysics, 1987. p. 131-311